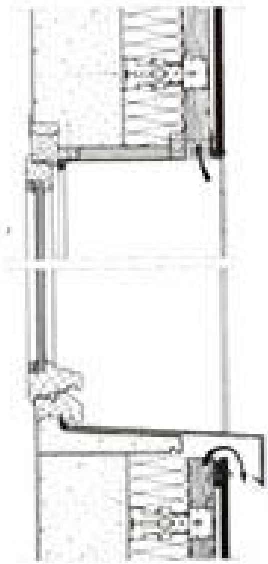
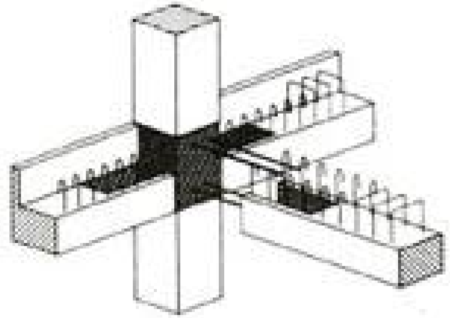
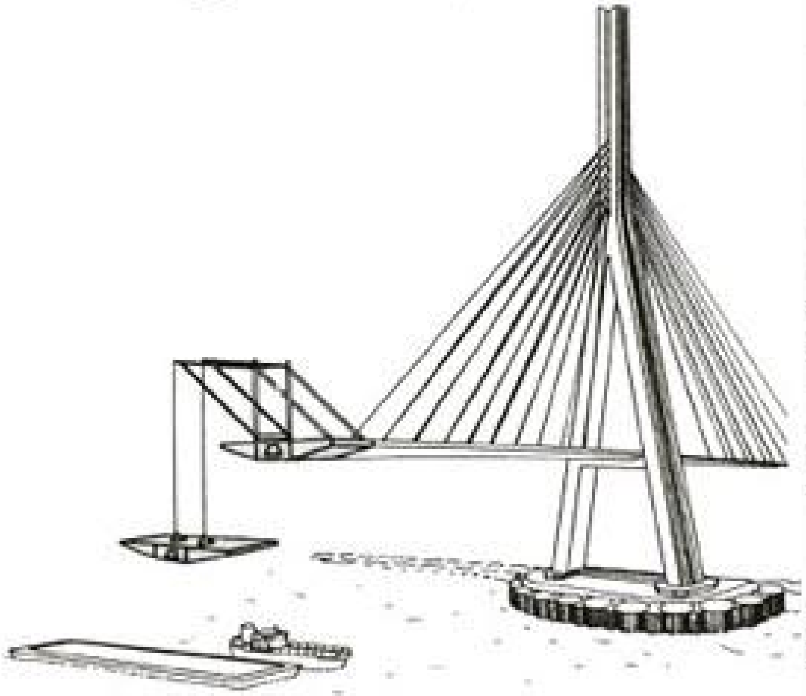
mémotech

génie civil

J.-M. Destrac
D. Lefaivre
Y. Maldent
S. Vila







Collection
A Capliez

CASTEILLA

Chez le même éditeur

Granulats, sols, ciments et bétons
Caractérisation des matériaux de génie civil
par les essais de laboratoire
R. Dupain, R. Lanchon, J.-C. Saint-Arroman

Génie civil – Dessin de bâtiment
C. Blanchet, J. Blouin

Mémotech Génie énergétique
P. Dal Zotto, J.-M. Larre, A. Merlet, L. Picau

Béton armé aux états limites
selon l'additif du BAEL 91
José Ouin

Progiciel MELBA 98
José Ouin

Mécanique des structures
José Ouin

Transferts thermiques
José Ouin

DANGER
LE PHOTOCOPILLAGE TUE LE LIVRE

Le logo qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, tout particulièrement dans le domaine de l'enseignement, le développement massif du photocopillage.
Le code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droits. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements scolaires, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

I.S.B.N. : 2-7135-1643-9
I.S.S.N. : 0986-4024

© Éditions CASTEILLA – 25 rue Monge – 75005 PARIS – 1996

Toute reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits, ou ayants cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.
La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration.

Préface

Dans le domaine du Génie civil – comme en bien d'autres domaines – l'assistance par ordinateur est chose courante. Cela a permis et permettra encore une amélioration considérable des moyens de fabrication et mise en œuvre, ainsi qu'un accroissement de la qualité des constructions et ouvrages d'art. Ce recours aux moyens informatiques place le Génie civil parmi les branches technologiques qui ont le plus évolué ces dernières décennies.

Cependant, les besoins en « banques de données papier » n'ont jamais été aussi grands. Normes, règlements, formulaires, catalogues… autant de documents éparpillés, souvent hors de portée lorsqu'il le faudrait, et de consultation malaisée.

La rédaction d'un *Mémotech Génie civil* s'imposait donc. Être aussi complet que possible et constituer une véritable banque de données destinée à fournir en temps réel tous les renseignements nécessaires à la conception et à la réalisation d'une construction ou d'un ouvrage d'art – et à quelque niveau que ce soit – telles étaient les exigences qui, avec ce *Mémotech*, ont été atteintes.

Rédigé avec méthode et clarté, abondamment illustré, cet ouvrage contient les extraits de normes, de règlements techniques et de sécurité, les solutions constructives les plus courantes, les caractéristiques techniques et les formules indispensables dans les domaines du bâtiment (gros œuvre et second œuvre) et des travaux publics, le tout judicieusement classé.

Remercions tout d'abord Monsieur l'Inspecteur général CANTAREL, responsable de l'enseignement du Génie civil au sein du groupe STI de l'Inspection générale de l'Éducation nationale pour le choix judicieux qu'il fit en nous dirigeant vers le Lycée Cantau d'Anglet et son Chef des travaux, M. MORTALENA, qu'il convient de remercier chaleureusement pour son concours et son aide logistique inestimable.

Remercions et félicitons enfin les auteurs, J.-M. DESTRAC, D. LEFAIVRE, Y. MALDENT et S. VILA, Professeurs agrégés de Génie civil, dont les compétences professionnelles et pédagogiques sont reconnues de tous, pour la qualité de cet ouvrage remarquable qui enrichit la bibliographie de l'Enseignement technique.

A. CAPLIEZ
Inspecteur général honoraire
de l'Éducation nationale

TABLE DES MATIÈRES

Les extraits de normes sont reproduits avec l'autorisation de l'AFNOR. Seules font foi les normes originales dans leur édition la plus récente.

1 TRAVAUX DE TERRASSEMENT

1.1 TERRASSEMENTS ROUTIERS (1)

CLASSIFICATION DES SOLS (CLASSES ET SOUS-CLASSES)

■ PARAMÈTRES RETENUS POUR LA CLASSIFICATION DES SOLS

Voir également chapitre 38 « Essais de laboratoire ».

- **Paramètres de nature**
  - la granularité : le D_{max}
  - **l'argilosité : l'indice de plasticité I_p**
  - **la valeur de bleu de méthylène VBS**
- **Paramètre d'état**
  - l'état très humide (th)
  - l'état humide (h)
  - l'état d'humidité moyenne (m)
  - l'état sec (s)
  - l'état très sec (ts)
- **Paramètres de comportement mécanique**
  - coefficient Los Angeles (LA) (NF P 18-573)
  - coefficient micro-Deval en présence d'eau (M_{DE}) (NF P 18-572)
  - coefficient de friabilité des sables (FS) (NF P 18-576)

■ SOLS FINS (CLASSE A, SOLS FINS)

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique	
Paramètres de nature niveau de classification : 1er	2e	Sous-classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	sous-classe
D_{max} ≤ 50 mm et tamisat à 80 µm > 35 %	**VBS** ≤ 2,5 ou I_p ≤ 12	A_1 Limons peu plastiques, lœss, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...	Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur W_n est proche de W_{OPN}. Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court, mais la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement. Dans le cas de ces sols fins peu plastiques, il est souvent préférable de les identifier par la valeur de bleu de méthylène VBS, compte tenu de l'imprécision attachée à la mesure de l'I_p.	**IPI** ≤ 3 ou $W_n \geq 1{,}25\ W_{OPN}$	A_1th
				3 < **IPI** ≤ 8 ou $1{,}10\ W_{OPN} \leq W_n < 1{,}25\ W_{OPN}$	A_1h
				8 < IPI ≤ 25 ou $0{,}9\ W_{OPN} \leq W_n < 1{,}10\ W_{OPN}$	A_1m
				$0{,}7\ W_{OPN} \leq W_n < 0{,}9\ W_{OPN}$	A_1s
				$W_n < 0{,}7\ W_{OPN}$	A_1ts
	12 < **I_p** ≤ 25 ou 2,5 < VB ≤ 6	A_2 Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes...	Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Dès que l'I_p atteint des valeurs ≥ 12, il constitue le critère d'identification le mieux adapté.	**IPI** ≤ 2 ou **Ic** ≤ 0,9 ou $W_n \geq 1{,}3\ W_{OPN}$	A_2th
				2 < **IPI** ≤ 5 ou 0,9 < **Ic** ≤ 1,05 ou $1{,}1\ W_{OPN} \leq W_n < 1{,}3\ W_{OPN}$	A_2h
				5 < IPI ≤ 15 ou 1,05 < Ic ≤ 1,2 ou $0{,}9\ W_{OPN} \leq W_n < 1{,}1\ W_{OPN}$	A_2m
				1,2 < Ic ≤ 1,4 ou $0{,}7\ W_{OPN} \leq W_n < 0{,}9\ W_{OPN}$	A_2s
				Ic > 1,4 ou $W_n < 0{,}7\ W_{OPN}$	A_2ts
	25 < **I_p** ≤ 40 ou 6 < VBS ≤ 8	A_3 Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...	Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants ou glissants à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier (et de manipulation en laboratoire). Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes, en place. Une augmentation de teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer notablement leur consistance.	**IPI** ≤ 1 ou **Ic** ≤ 0,8 ou $W_n \geq 1{,}4\ W_{OPN}$	A_3th
				1 < **IPI** ≤ 3 ou 0,8 < **Ic** ≤ 1 ou $1{,}2\ W_{OPN} \leq W_n < 1{,}4\ W_{OPN}$	A_3h
				3 < IPI ≤ 10 ou 1 < Ic ≤ 1,15 ou $0{,}9\ W_{OPN} \leq W_n < 1{,}2\ W_{OPN}$	A_3m
				1,15 < Ic < 1,3 ou $0{,}7\ W_{OPN} \leq W_n < 0{,}9\ W_{OPN}$	A_3s
				Ic > 1,3 ou $W_n < 0{,}7\ W_{OPN}$	A_3ts
	I_p > 40 ou VBS > 8	A_4 Argiles et argiles marneuses, très plastiques...	Ces sols sont très cohérents et presqu'imperméables : s'ils changent de teneur en eau, c'est extrêmement lentement et avec d'importants retraits ou gonflements. Leur emploi en remblai ou en couche de forme n'est normalement pas envisagé mais il peut éventuellement être décidé à l'appui d'une étude spécifique s'appuyant notamment sur des essais en vraie grandeur.	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique	A_4th
					A_4h
					A_4m
					A_4s

Les paramètres inscrits en caractères gras sont ceux dont le choix est à privilégier.

(1) TEXTES EXTRAITS, AVEC L'AUTORISATION DE L'ADMINISTRATION, DES FASCICULES 1 ET 2 DU **GUIDE TECHNIQUE « RÉALISATION DES REMBLAIS DES COUCHES DE FORME »** COÉDITÉ PAR LE LCPC ET LE SETRA.

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX EN REMBLAI

■ PRINCIPES DE MISE EN ŒUVRE RETENUS

Les conditions d'utilisation des sols, des matériaux rocheux, des sous-produits industriels sont celles qu'il y a lieu de respecter pour autoriser l'emploi en remblai des différentes classes et sous-classes de matériaux.

Ces conditions sont exprimées en exigences techniques directement intégrables dans les cahiers des charges des marchés pour obtenir la qualité généralement recherchée pour ces ouvrages.

Pour chaque classe ou sous-classe de matériaux définie dans la classification, les tableaux indiquent les conditions de mise en œuvre à respecter en fonction de la situation météorologique constatée au moment où le matériau est mis en remblai.

A_1 (états s et ts), A_2 (états th et h)

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
A_1s	Ces sols sont difficiles à compacter. Il faut au moins éviter de réduire encore leur teneur en eau et pour des remblais de grande hauteur un changement de leur état hydrique est nécessaire.	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faible	E : extraction en couches R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1 0 0 0 1 2 2
		=	ni pluie ni évaporation importante	Solution 1 : humidification dans la masse W : humidification pour changement d'état R : régalage en couches minces C : compactage moyen	0 0 4 0 1 2 0
				Solution 2 : emploi en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0 0 0 0 0 1 2
		–	évaporation importante	Solution 1 : arrosage superficiel W : arrosage superficiel pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de faible hauteur (≤ 5 m)	0 0 3 0 0 1 1
				Solution 2 : extraction avec arrosage superficiel E : extraction frontale W : arrosage superficiel C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	2 0 3 0 0 1 2
				Solution 3 : humidification dans la masse W : humidification pour changement d'état R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0 0 4 0 1 1 2
A_1ts	**Sols normalement inutilisables en l'état** Leur humidification pour les ramener dans l'état s, voire m, peut être envisagée sous réserve d'une étude spécifique.				NON
A_1th	**Sols normalement inutilisables en l'état**				NON
A_2h	Ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible. La mise en dépôt provisoire et le drainage préalable ne sont habituellement pas des solutions envisageables dans le climat français moyen. Le matelassage est à éviter au niveau de l'arase terrassement.	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage faible	0 0 0 2 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de faible hauteur (≤ 5 m)	0 0 0 0 0 3 1
		–	évaporation importante	Solution 1 : aération E : extraction en couches W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1 0 1 0 1 2 2
				Solution 2 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage moyen	0 0 0 2 0 2 0

DOC. SETRA/LCPC

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX EN REMBLAI (suite)

Tableau récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0 1 2	Pas de condition particulière à recommander Extraction en couches (0,1 à 0,3 m) Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2 m)
G Action sur la granularité	0 1 2 3	Pas de condition particulière à recommander. Élimination des éléments > 800 mm Élimination des éléments > 250 mm pour traitement Fragmentation complémentaire après extraction
W Action sur la teneur en eau	0 1 2 3 4	Pas de condition particulière à recommander Réduction de la teneur en eau par aération Essorage par mise en dépôt provisoire Arrosage pour maintien de l'état Humidification pour changer d'état
T Traitement	0 1 2	Pas de condition particulière à recommander Traitement avec un réactif ou un additif adaptés Traitement à la chaux seule
R Réglage	0 1 2	Pas de condition particulière à recommander Couches minces (20 à 30 cm) Couches moyennes (30 à 50 cm)
C Compactage	1 2 3	Compactage intense Compactage moyen Compactage faible
H Hauteur des remblais	0 1 2	Pas de condition particulière à recommander Remblai de hauteur faible (≤ 5 m) Remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)

Remarque

Lorsque l'on considère ce tableau, on constate que pour toutes les rubriques, exceptée celle relative au compactage, l'éventualité de n'avoir pas de condition d'utilisation particulière à formuler existe. Dans le cas du compactage, le projeteur sera donc toujours tenu de prescrire l'énergie de compactage à appliquer. En particulier la condition « compactage faible » ne peut en aucun cas être assimilée à une absence de condition particulière à recommander (code 0) car elle implique d'une part un niveau de compactage bien précis à appliquer, et d'autre part des sujétions de chantier particulières telles que l'interdiction faite aux engins de transport de circuler sur les ouvrages en cours de construction, etc.

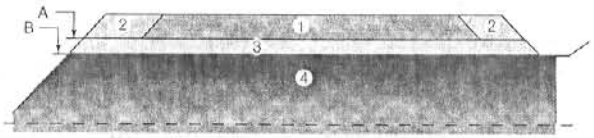
DOC. SETRA/LCPC

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX EN COUCHE DE FORME

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée.

La surface supérieure de cette structure d'adaptation constitue la « plate-forme support de chaussée » (PF).

On désigne par Partie Supérieure des Terrassements ou PST la zone supérieure (environ un mètre d'épaisseur) des terrains en place (cas des profils en déblai) ou des matériaux rapportés (cas des profils en remblai). La plate-forme de la PST est l'Arase de terrassement AR.



A Plate-forme support de chaussée (PF)   B Arase terrassement (AR)

1. Chaussée (couches de roulement, base et fondation)
2. Accotements
3. Couche de forme
4. Partie supérieure des terrassements PST : épaisseur d'environ 1 m de sol naturel (section en déblai) ou de matériau rapporté (section en remblai) située sous la couche de forme.

DOC. SETRA/LCPC

■ EXEMPLE DE CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX EN COUCHE DE FORME : SOLS A_1A_2

Classe de sol	Observations générales	Situation météo-rologique		Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	Épaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plate-forme support de chaussée				
						PST n°1	PST n°2	PST n°3		PST n°4
						AR 1	AR 1	AR 1	AR 2	AR 2
A_1h	La grande sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique de les traiter avec des liants hydrauliques associés éventuellement à de la chaux. La maîtrise de l'état hydrique de ces sols traités est souvent délicate en raison de la variation brutale de leur comportement (portance) pour de faibles écarts de teneur en eau. Ces sols se traitent généralement en place.	+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON					
		= ou –	pas de pluie	T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 2 2					
A_1m		+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON					
		= ou –	pas de pluie	W : arrosage pour maintien de l'état hydrique T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 1 2 2					
A_1s		+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON		e = 0,35	e = 0,35	e = 0,35	e = 0,35
		= ou –	pas de pluie	W : humidification pour changer l'état hydrique T : traitement avec un liant hydraulique S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 2 1 2					
A_2h	La sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique de les traiter le plus souvent en associant chaux + liant hydraulique étant donné l'importance de la fraction argileuse qu'ils peuvent contenir. L'association avec de la chaux peut par ailleurs s'imposer pour ajuster leur état hydrique lorsqu'ils sont trop humides. Lorsqu'ils sont dans un état sec, il est nécessaire de les humidifier pour les ramener à l'état moyen et dans ce cas la chaux peut avantageusement être introduite sous forme de lait de chaux dont la concentration doit être adaptée au cas de chantier considéré. Ces sols se traitent presque toujours en place pour la phase de prétraitement à la chaux et éventuellement en centrale pour la phase traitement au ciment.	+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON	(1)				
		=	ni pluie ni évaporation	T : traitement mixte : chaux + liant hydraulique S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 3 2		PF2	PF2	PF3	PF3
		–	évaporation importante	T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 2 2					
A_2m		+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON					
		= ou –	pas de pluie	W : arrosage pour maintien de l'état hydrique T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 1 2 2					
A_2s		+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON					
		ou	pas de pluie	W : humidification pour changer l'état hydrique T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 2 2 2					

(1) Sur cette PST, la mise en œuvre d'un matériau traité répondant à une qualité « couche de forme » n'est pas réalisable. Procéder d'abord à un traitement selon une technique « remblai » et se rapporter alors au cas de PST n° 4 si l'effet du traitement est durable et aux cas PST n° 2 ou 3 s'il ne l'est pas.

DOC SETRA/LCPC

MODALITÉS DE COMPACTAGE ET DE RÉGALAGE DES MATÉRIAUX

■ TABLEAUX DE COMPACTAGE POUR L'UTILISATION DES MATÉRIAUX EN REMBLAI

A_1, C_1A_1 *(1)*

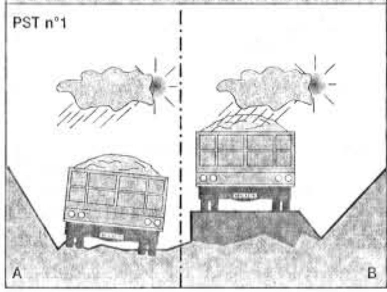
Modalités / Compacteur	Énergie de compactage														
	faible			Code 3		moyenne			Code 2		intense			Code 1	
	Q/S	e	V	N	Q/L	Q/S	e	V	N	Q/L	Q/S	e	V	N	Q/L
P1	0,080	0,30	5,0	4	400	0,045	0,25	5,0	6	225		0			
P2	0,120	0,45 (2)	5,0	4	600	0,065	0,35	5,0	6	325	0,035	0,20	5,0	6	175
P3	0,180	0,60 (2)	5,0	4	900	0,095	0,45	5,0	5	475	0,050	0,30	5,0	6	250
V1	0,055	0,25	2,0	5	110		0					0			
V2	0,085	0,35	2,5	5	215	0,040	0,25	2,0	7	80	0,025	0,20	2,0	8	50
V3	0,125	0,30	4,0	3	500	0,065	0,30	2,5	5	165	0,040				
		0,50	2,5	4	315		0,40	2,0	7	130		0,30	2,0	8	80
V4	0,165	0,35 (2)	5,0	3	825	0,085	0,30	3,5	4	300	0,050	0,30	2,5	6	125
		0,65 (2)	2,5	4	415		0,50	2,0	6	170		0,40	2,0	8	100
V5	0,205	0,40 (2)	5,0	2	1025	0,100	0,30	4,0	3	400	0,065	0,30	3,0	5	195
		0,80 (2)	2,5	4	515		0,60	2,0	6	200		0,45	2,0	7	130
VP1	0,055	0,25 (3)	2,0	5	110		0					0			
VP2	0,085	0,30 (3)	3,0	4	255	0,040	0,25 (3)	2,0	7	80	0,025	0,20	2,0	8	50
VP3	0,165	0,30 (3)	4,0	2	660	0,085	0,30 (3)	2,5	4	215	0,050	0,30	2,0	6	100
VP4	0,205	0,35 (3)	5,0	2	1025	0,100	0,30 (3)	3,5	3	350	0,065	0,30	2,5	5	165
VP5	0,265	0,40 (3)	5,0	2	1325	0,130	0,30 (3)	4,0	3	520	0,085	0,30	3,0	4	255
SP1	0,070	0,25 (3)	8,0	4	560	0,040	0,20 (3)	8,0	5	320		0			
SP2	0,100	0,40 (3)	8,0	4	800	0,070	0,30 (3)	8,0	5	560	0,035	0,25	8,0	8	280
PQ3		0					0					0			
PQ4	0,065	0,20 (2)	1,0	3	65		0					0			

(1) Impose que D_{max} < 2/3 de l'épaisseur de la couche compactée.
(2) S'assurer de la traficabilité du compacteur.
(3) Prévoir une opération annexe pour effacer les empreintes lorsqu'il y a risque de pluie en fin de journée (rabotage des centimètres supérieurs, ou emploi d'un autre type de compacteur si celui-ci apporte l'effet souhaité).

Q/S : m — e : m — V : km/h — N : –
Q/L : m^3/h.m — 0 : compacteur ne convenant pas

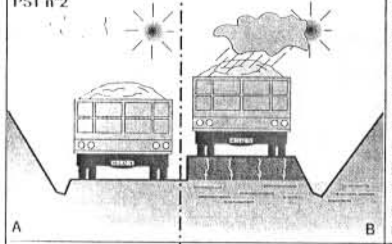
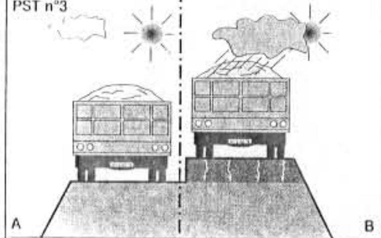
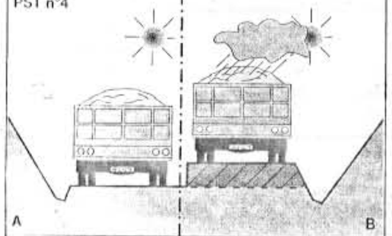
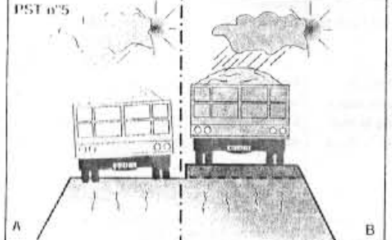
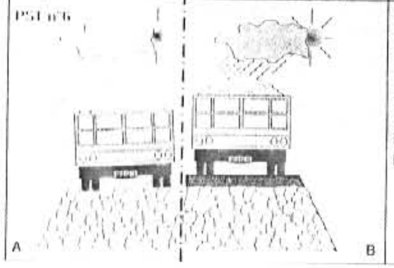
DOC. SETRA/LCPC

■ RAPPEL DES DIFFÉRENTS CAS POSSIBLES DE PST

Schéma	Description	Commentaires
PST n°0 	**Sols** A_1, B_2, B_4, B_5, B_6, C_1 se trouvant dans un état hybride (th) **Contexte** Zones tourbeuses, marécageuses ou inondables. PST dont la portance risque d'être quasi nulle au moment de la réalisation de la chaussée ou au cours de la vie de l'ouvrage.	**Classe de l'arase : AR0** La solution de franchissement de ces zones doit être recherchée par une opération de terrassement (purge, substitution) et/ou de drainage (fossés profonds, rabattement de la nappe...) de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.
PST n°1 	**Sols** Matériaux de classe A_1, B_2, B_4, B_5, B_6, C_1, R_{12}, R_{13}, R_{34} et certains matériaux C_2, R_{43} et R_{63} dans un état hybride (h) **Contexte** PST en matériaux sensibles de mauvaise portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme **A** et sans possibilité d'amélioration à long terme **B**.	**Classe de l'arase : AR1** Dans ce cas de PST, il convient : • soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0,5 m d'épaisseur par un traitement principalement à la chaux vive et selon une technique remblai. On est ramené au cas de PST 2, 3 ou 4 selon le contexte • soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST – couche de forme).

A : Comportement de la PST à la mise en œuvre de la couche de forme   B : Situation pendant la « phase de construction » de la chaussée

DOC. SETRA/LCPC

Schéma	Description	Commentaires
PST n°2 	**Sols** Matériaux de classe A_1, B_2, B_4, B_5, B_6, C_1, R_{12}, R_{13}, R_{34} et certains matériaux C_2, R_{43} et R_{63} dans un état hybride (m) **Contexte** PST en matériaux sensibles à l'eau de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme **A**. Cette portance peut cependant chuter à long terme sous l'action des infiltrations des eaux pluviales et d'une remontée de la nappe **B**.	**Classe de l'arase : AR1** Si l'on peut réaliser un rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, on est ramené au cas de PST 3. Bien que les exigences requises à court terme pour la plate-forme support puissent être momentanément obtenues au niveau de l'arase, il est cependant quasiment toujours nécessaire de prévoir la réalisation d'une couche de forme.
PST n°3 	**Sols** Mêmes matériaux que dans le cas de PST 2. **Contexte** PST en matériaux sensibles à l'eau, de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme **A** mais pouvant chuter à long terme sous l'action des infiltrations des eaux pluviales **B**.	**Classe de l'arase : AR1** Même commentaire qu'en PST 2 sur la nécessité de réalisation d'une couche de forme. Sans mesure de drainage. **Classe de l'arase : AR2** Classement en AR2 si des dispositions constructives de drainage à la base de la chaussée permettent d'évacuer les eaux et d'éviter leur infiltration.
PST n°4 	**Sols** Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement. **Contexte** PST en matériaux sensibles à l'eau (en remblai ou rapportés en fond de déblai hors nappe) ayant subi une amélioration à la chaux ou aux liants hydrauliques selon une technique « remblai » et sur une épaisseur de 0,30 à 0,50 m. L'action du traitement est cependant durable.	**Classe de l'arase : AR2** La portance de l'arase peut être localement élevée mais la dispersion n'autorise pas un classement supérieur. La décision de réalisation d'une couche de forme sur cette PST dépend du projet et des valeurs de portance de l'arase mesurées à court terme (après prise du liant).
PST n°5 	**Sols** B_1,D_1 et certains matériaux rocheux de la classe R_{43}. **Contexte** PST en matériaux sableux fins insensibles à l'eau, hors nappe, posant des problèmes de traficabilité.	**Classe de l'arase : AR2 ou AR3** La portance de l'arase de cette PST dépend beaucoup de la nature des matériaux. Classement en AR3 si le module EV2 de l'arase est supérieur à 120 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme sur cette PST ne s'impose que pour satisfaire les exigences de traficabilité.
PST n°6 	**Sols** Matériaux des classes D_3, R_{11}, R_{21}, R_{22}, R_{32}, R_{33}, R_{41}, R_{42}, R_{62} ainsi que certains matériaux C_2, R_{23}, R_{43} et R_{63}. **Contexte** PST en matériaux graveleux ou rocheux insensibles à l'eau mais posant des problèmes de réglages et/ou de traficabilité.	**Classe de l'arase : AR3 ou AR4** Classement en AR3 si EV2 ≥ 120 MPa et en AR4 si EV2 ≥ 200 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme ne s'impose que pour les exigences à court terme (nivellement et traficabilité) et peut donc se réduire à une couche de fin réglage.

A : Comportement de la PST à la mise en œuvre de la couche de forme   B : Situation pendant la « phase de construction » de la chaussée

DOC. SETRA/LCPC

1.2 BLINDAGE DES FOUILLES

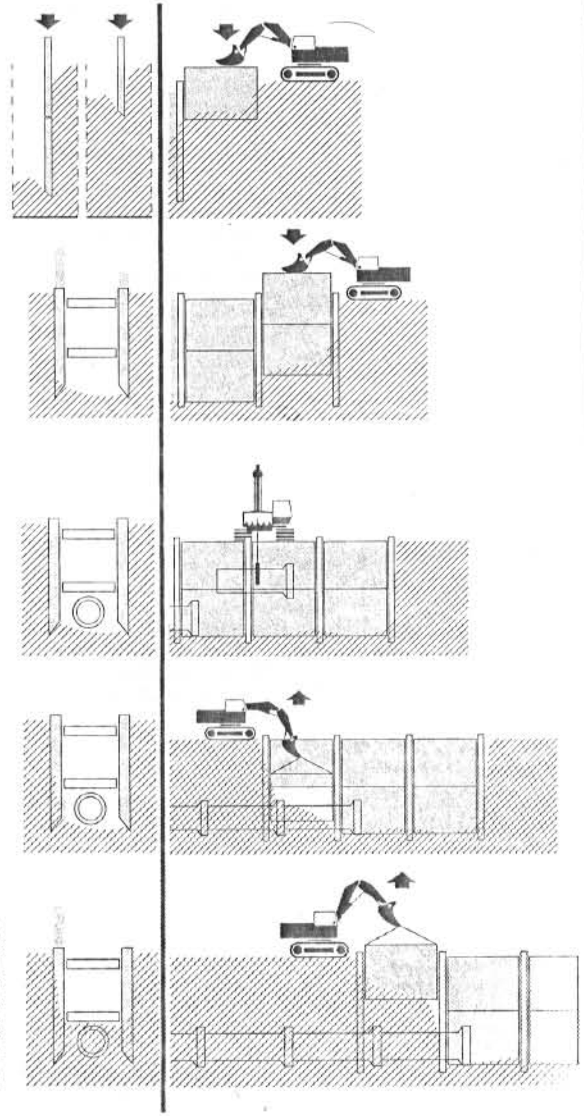
INTRODUCTION

Les parois de toutes les fouilles sont aménagées de façon à prévenir les éboulements. « Les fouilles en tranchées de plus de 1,30 m de profondeur et d'une largeur égale ou inférieure au 2/3 de la profondeur doivent, lorsque leurs parois sont verticales ou sensiblement verticales, être blindées, étrésillonnées ou étayées (1) ». Il faut de plus entourer la fouille d'une plinthe de 0,15 m de hauteur, et aménager une berme d'au moins 0,40 m de largeur.

(1) Titre IV du décret du 8 janvier 1965

MISE EN ŒUVRE

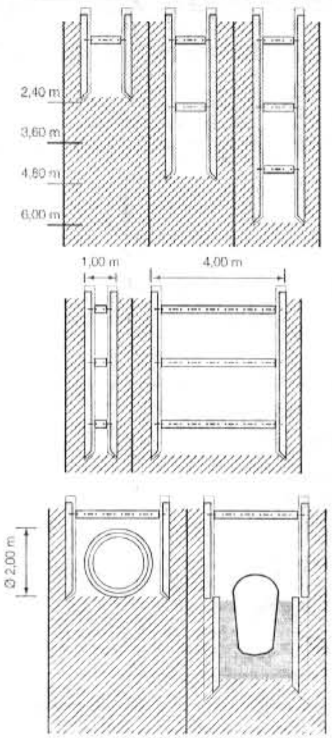
- **Au déblai, les panneaux sont enfoncés les uns au-dessus des autres.**
- Pose de canalisations
- **Au remblai, les panneaux inférieurs sont escamotés pour être enlevés sans bouger les panneaux supérieurs.**

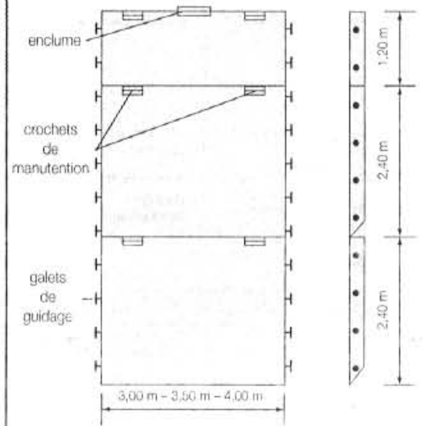


DOC. OUTINORD

BLINDAGES INDUSTRIALISÉS

Dimensions des panneaux standard :
Largeur : 3,00 m – 3,50 m – 4,00 m
Hauteur : panneau inférieur biseauté 2,40 m
Panneau complémentaire : 2,40 m et 1,20 m
Hauteur des glissières : 5,10 m (pour deux hauteurs de panneaux de 2,40 m)
Rehausse de glissière : de 2,40 m à 4,80 m
Les butons standard réglables en hauteur et largeur, avec entretoises supplémentaires, autorisent le blindage des fouilles jusque 4 m de largeur.

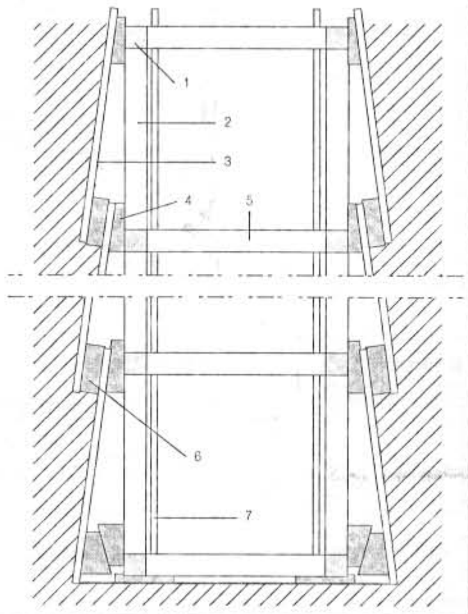




DOC. GUTINORD

FOUILLES BLINDÉES MANUELLEMENT

Un blindage traditionnel s'apparente à un coffrage traditionnel. Il est constitué de parois verticales continues (panneaux) ou discontinues (planches non jointives) dont le rôle est de maintenir le terrain. Ces parois sont plaquées contre le terrain par des cadres arc-boutés (entre les parois en vis-à-vis, ou par rapport à un point fixe).



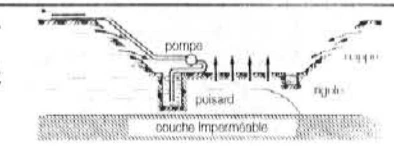
1. longrine
2. porteur
3. planche
4. coin
5. étrésillon
6. cale
7. suspente

1.3 TRAITEMENT DES VENUES D'EAU

Les venues d'eau peuvent être traitées par :
- épuisement,
- rabattement de la nappe,
- étanchement de la fouille.

ÉPUISEMENT

Le pompage est réalisé par une pompe d'exhaure dans une tranchée drainante.
Ce procédé est économique, mais les talus et le fond de fouille restent humides et instables.

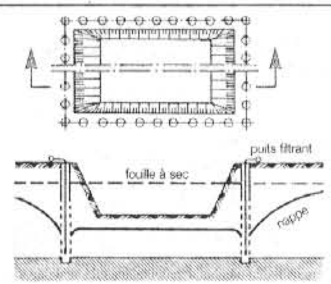


DOC. SOLÉTANCHE

RABATTEMENT DE LA NAPPE

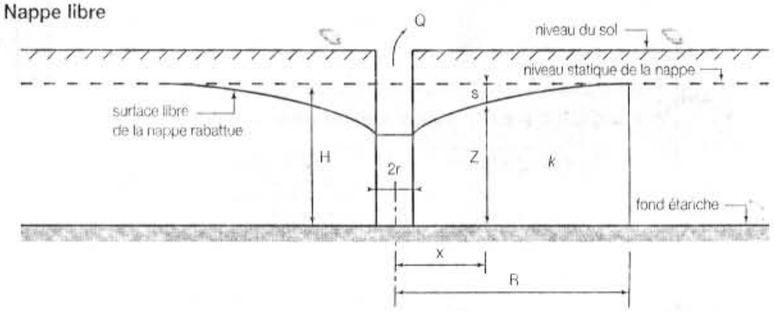
Il s'agit de rabattre le niveau de la nappe en dessous du niveau d'excavation.
Conditions à respecter :
- non-entraînement des matériaux ;
- fond de fouille et talus parfaitement secs et stables.

Les calculs théoriques peuvent s'effectuer par les méthodes et formules :
- de Dupuit en régime permanent ;
- de Theis et Thiem en régime transitoire.



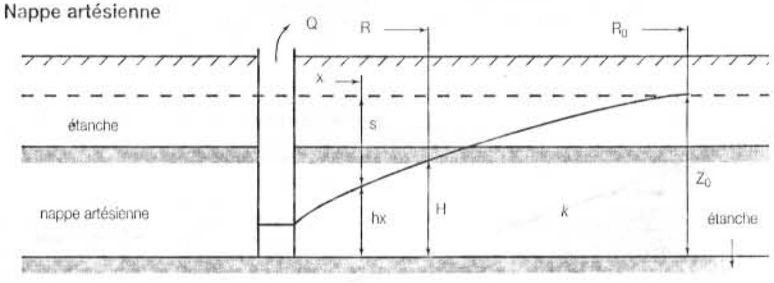
■ RÉGIME PERMANENT, FORMULE DE DUPUIT

• **Nappe libre**



$$H^2 - Z^2 = \frac{Q}{\pi . k} \text{ Ln } \frac{R}{x}$$ ou, si H – Z est petit devant 2 H $$s = \frac{Q}{2\pi . k . H} \text{ Ln } \frac{R}{x}$$

• **Nappe artésienne**



$$\bar{s} = \frac{Q}{2\pi . k . H} \text{ Ln } \frac{R_0}{x}$$ $$\bar{s} = s$$ si x > R $$\bar{s} = \frac{s\,(2\,Z_0 - s) - (Z_0 - H)^2}{2\pi}$$ si x < R

DOC. SOLÉTANCHE

RABATTEMENT (suite)

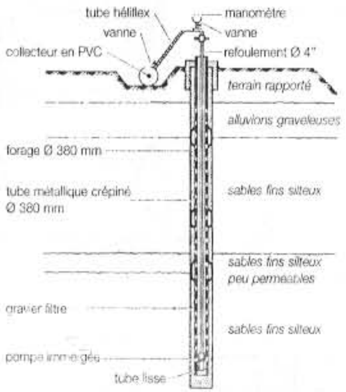
PUITS FILTRANTS

Utilisation

- Grands débits à évacuer.
- Hauteur de rabattement importante.

Constitution

- Un forage de diamètre 400 à 600 mm est réalisé afin de remanier le terrain au minimum.
- Une électropompe immergée, surmontée d'un tube crépiné de diamètre 150 à 300 mm équipe le forage.
- Un massif filtrant (gravier/sable) entoure la crépine.



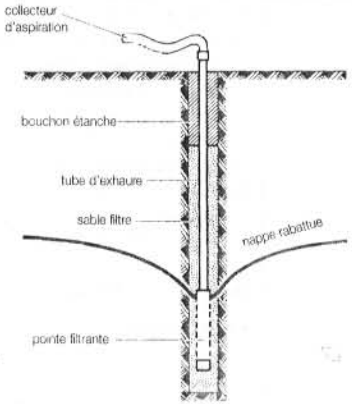
POINTES FILTRANTES

Utilisation

- Faibles débits à évacuer (0,15 l/s maxi).
- Terrains de faible et moyenne perméabilité (10^{-4} à 10^{-6} m/s).

Constitution

- Les pointes sont lancées dans le terrain (sous l'effet d'un jet d'eau sous pression sortant à la base de la pointe, évacuant et entraînant le terrain) et sont reliées en tête par un collecteur d'aspiration.



DOC. SOLÉTANCHE

ÉTANCHEMENT DE LA FOUILLE

PROCÉDÉS À BASE DE PAROIS OU ANALOGUES

Domaines d'utilisation		Avantages	Inconvénients
1 Palplanches	Tous types de sols, sauf éboulis, gros graviers, sables fins	- Largement connu et répandu - Installation rapide - Possibilité soit d'incorporer le rideau à l'ouvrage, soit de le récupérer après usage	- Battage difficile dans graviers, sables fins, éboulis - Vibrations et bruits à la mise en œuvre - Prix élevés si palplanches non récupérées - Étanchéité relative, fenêtres possibles
2 Parois moulées ou préfabriquées	- Tous types de sols - Bâtiment à sous-sols multiples - Parkings souterrains - Stations de pompage - Écluses, canaux - Blindages de toutes excavations	- Peut être inclus à l'ouvrage définitif - Économique en ouvrage circulaire (moulées) - Possibilité d'ancrage dans du rocher - Peu de vibrations et de bruit - Pas de problèmes de corrosion - Peut être réalisé dans un espace réduit - Peut être réalisé à proximité de fondations existantes	- Coût élevé si joue le seul rôle d'étanchéité
3 Parois d'étanchéité épaisses	- Tous types de sols - Sans limite - Voile au large de barrage, fouille	- Rapidité d'exécution et coût faible - Possibilité d'ancrage dans du rocher - Profondeurs importantes (50 m et plus) - Étanchéité élevée ($\leq 10^{-7}$ m/s) - Possibilités d'adaptation aux mouvements	- Sans résistance mécanique notable - Nécessité des talus stables
4 Parois minces	Limons, sables, graviers	- Rapidité d'exécution et coût faible - Étanchéité élevée ($\leq 10^{-7}$ m/s) - Possibilités d'adaptation aux mouvements	- Profondeur limitée à 25 m - Pas d'ancrage dans le rocher - Même que 3
5 Pieux jointifs	Mêmes que 2	- Faible encombrement possible - Peu de vibrations et de bruit - Peut être réalisé très près de fondations existantes	- Difficultés techniques au-delà de 20 m de profondeur - Moments résistants inférieurs à ceux d'une paroi - Coût élevé

DOC. SOLÉTANCHE

PROCÉDÉS À BASE DE VOILES D'INJECTION

Domaines d'utilisation		Avantages	Inconvénients
6 Coulis de ciment	- Remplissage de fissures pour stopper des écoulements - Grosses cavités sous forme de ciment + additifs (cendres, sable, entraîneurs d'air, gonflants...) - Rochers fissurés - Alluvions très perméables ($10^{-2} < k < 10^{-1}$ m/s)	- Équipement simple et miniaturisé (galeries, caves, tunnels) - Traitement permanent	- Peu de précision impliquant des traitements extensifs
7 Coulis de bentonite ciment	- Remplissage des vides du terrain par expulsion d'eau - Confection d'écrans imperméables horizontaux - Voile au large de barrage, noyaux injectés - Coupure alluviale de vallée sous barrage - Alluvions perméables ($10^{-3} \leq k < 10^{-2}$ m/s)	- Équipement simple et miniaturisé - Traitement permanent - Possibilité de liaison avec un substratum irrégulier - Consolidation possible avec dosages appropriés	- Nécessité d'une épaisseur relativement importante pour assurer la continuité (2 à 3 m) - Nécessité d'une surcharge de mort terrain (5 à 6 m) au-dessus de la zone utile
8 Gels de silice	- Sables moyens ($5 \times 10^{-5} < k < 10^{-3}$ m/s)	- Mêmes que 7 - Possibilités diverses : étanchéité consolidation avec réactifs et dosages appropriés - Complément aux traitements argile-ciment	- Coût élevé en consolidation (gel dur) - Nécessité une surcharge de couverture (4 à 6 m) - Épaisseur de traitement relativement importante
9 Résines et analogues	- Sables fins, limons sableux	- Mêmes que 7 - Complément aux traitements 7 et/ou 8 pour les couches les plus fines	- Coût élevé - Nécessite un contrôle strict

PROCÉDÉS À BASE DE RABATTEMENTS DE NAPPE

Domaines d'utilisation		Avantages	Inconvénients
10 Puisards	- Graviers, sables grossiers - Assèchement des fouilles	- Matériel simple	- Érosion régressive par entraînement des fines du terrain - Instabilité des talus et des fonds de fouille
11 Pointes filtrantes sous vide	- Sables moyens à fins, sables limoneux - Assèchement des fouilles - Mise en dépression des nappes captives	- Stabilité des talus et du fond de fouille - Rapide et facile à installer en terrains adéquats - Économie - S'adapte bien à un chantier évolutif	- Difficile à installer en présence de gros graviers, galets ou blocs - Surveillance continue jour et nuit - Nécessité de plusieurs étages pour un rabattement supérieur à 5,50 m
12 Puits filtrants sous vide	- Sables et graviers, sables limoneux, rocher fissuré - Pour terrains à perméabilité relativement élevée	- Stabilité des talus et du fond de fouille - Coût d'entretien inférieur à celui d'une installation de même débit en pointes filtrantes	- Installation parfois coûteuse - Surveillance continue jour et nuit - Nécessité de plusieurs étages pour rabattements importants
13 Puits filtrants et groupes immergés	- Sables fins silteux à grossiers graviers, rocher fissuré - Excavations profondes - Mise en dépression des nappes captives	- Stabilité des talus et du fond de fouille - Pas de limitation sur la hauteur rabattue - Possibilité de puits crépinés sur une grande hauteur - Possibilité de s'écarter de la zone de travail - Avec énergie électrique aucun bruit sensible - Gros débits unitaires envisageables	- Coût d'installation élevé - Peut nécessiter des organes d'exhaure importants - Surveillance continue jour et nuit - Groupes électrogènes de secours - Coût d'entretien proportionnel à la durée
14 Galeries de drainage	- Évacuation de débits importants - Captage - Stabilisation des glissements (avec drains) - N'importe quelle couche aquifère surmontant un substratum relativement peu perméable pouvant être excavé en galerie	- Pas de limitation de rabattements - Contrôle facile des niveaux et débits - Possibilité de galeries obliques - Augmentation du rayon d'action avec des drains	- Coût d'installation initiale élevé - Risques de débourrages

PROCÉDÉS À BASE DE CONGÉLATION

Domaines d'utilisation		Avantages	Inconvénients
15 Saumure	- Tous types de terrains ou rochers saturés - Annulation des circulations par formation de glace dans les vides du terrain	- Économique pour travaux importants de longue durée - Augmente temporairement les caractéristiques mécaniques du sol	- Durée de mise en froid importante - Coût d'installation élevé - Contrôle strict, surveillance continue - Nécessité de forages rigoureux
16 Azote liquide	- Idem 15	- Comme 15 avec mise en froid très rapide - Coût de mise en froid relativement faible - Forte augmentation des caractéristiques mécaniques	- Coût d'entretien élevé - Nécessité d'approvisionnement permanent en azote - Contrôle strict, surveillance continue - Nécessité de forages rigoureux

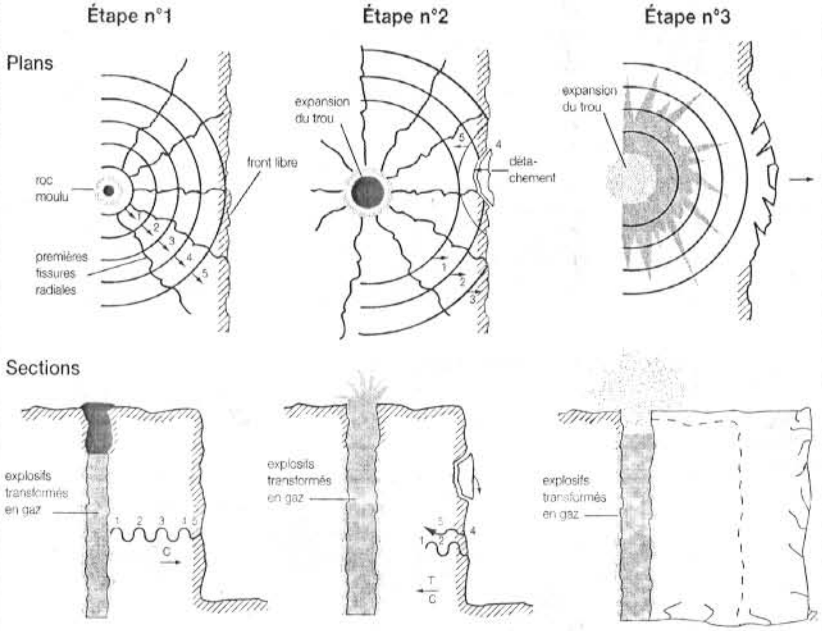
DOC. SOLÉTANCHE

1.4 EXPLOSIFS

DONNÉES AVANT LA CONCEPTION DU TIR

- **Caractérisation du massif rocheux**
  Fracturation
  Résistance mécanique
  Eau
- **Explosif**
  Densité
  Énergie et vitesse de détonation
  Résistance à l'eau
- **Matériel en amont et en aval**
  Foreuse
  Chargeur
  Camions
  Concasseurs
- **Objectifs techniques et économiques du tir**
  Granulométrie
- **Environnement**

DÉTONATION DE L'EXPLOSIF



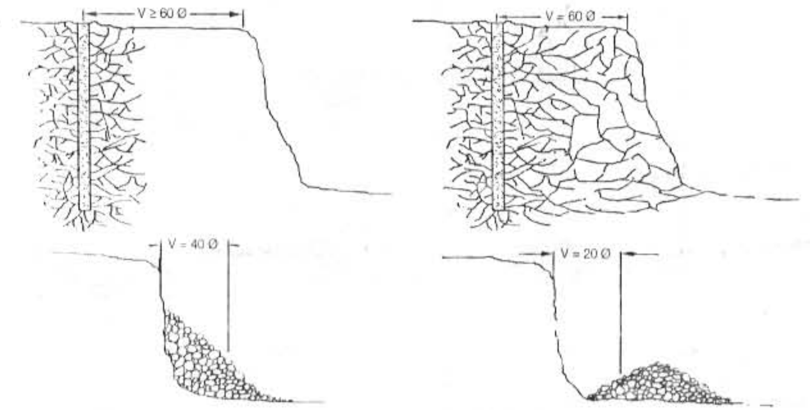
1 à 5 – Positions de l'onde de compression

1 à 3 – Positions de l'onde de compression
4 à 5 – Positions de l'onde de tension réfléchie

Détendu, le roc brisé sous tension
Détaché, la masse brisée se déplace vers l'avant

SOURCE : TECHNIQUES D'UTILISATION DES EXPLOSIFS, J. J. LIARD

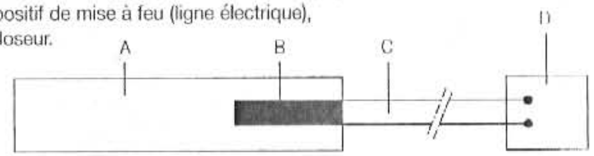
ZONE D'INFLUENCE



CHAÎNE PYROTECHNIQUE

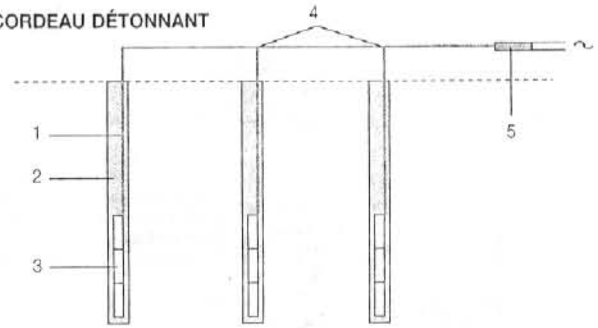
■ ASSEMBLAGE

La chaîne pyrotechnique est un assemblage :
- A, d'une charge d'explosif,
- B, d'un dispositif d'amorçage (détonateur électrique),
- C, d'un dispositif de mise à feu (ligne électrique),
- D, d'un exploseur.



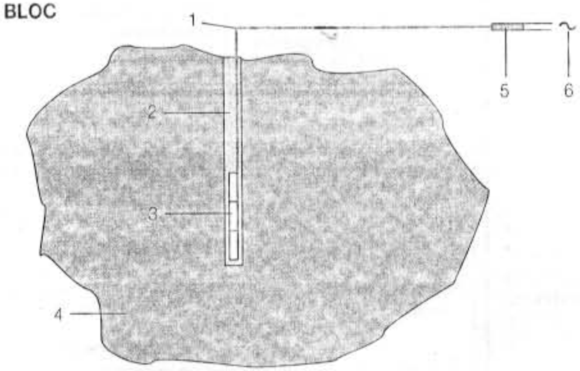
■ AMORÇAGE AU CORDEAU DÉTONNANT

1. cordeau détonant
2. bourrage
3. explosif
4. ligatures
5. détonateur

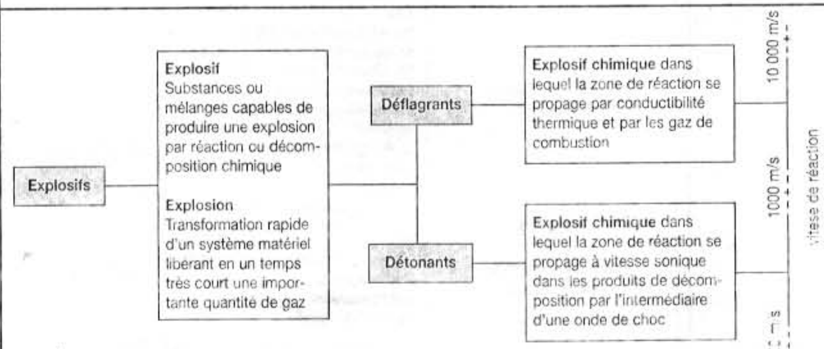


■ PÉTARDAGE D'UN BLOC

1. cordeau détonant
2. bourrage
3. explosif
4. bloc
5. détonateur
6. exploseur

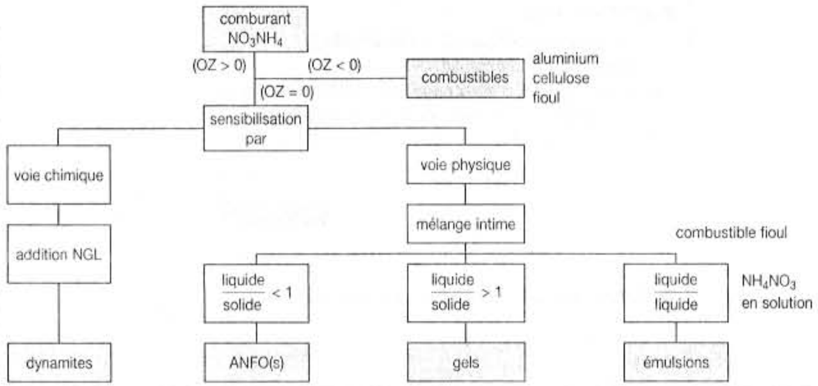


FAMILLES D'EXPLOSIFS



(D'APRÈS DOC. NITROCHIMIE)

FAMILLES D'EXPLOSIFS (suite)



COMPOSITION ET UTILISATION DES EXPLOSIFS INDUSTRIELS

		Composition type	%	utilisation
Dynamites	plastiques ou gommes	Nitroglycéroglycol Nitrate d'ammonium Coton azotique Farine de bois Dinitrotoluène Aluminium	20 à 90 30 à 60 1 à 5 2 à 6 0 à 2 0 à 8	roches dures vitesse de détonation : 4000 à 6000 m/s sensible aux chocs
	pulvérulentes	Nitroglycéroglycol Nitrate d'ammonium Coton azotique Farine de bois Sel Tourbe	10 à 15 30 à 80 ≈ 1 2 à 10 0 à 50 0 à 5	
Nitrates		Trinitrotoluène Nitrate d'ammonium Farine de bois Stéarate de calcium Sel	10 à 15 65 à 85 0 à 5 ≈ 1 0 à 20	en cartouches vitesse de détonation : 3000 à 4000 m/s peu sensible aux chocs sensible à l'humidité
Nitrates-fiouls	ordinaires	Nitrate d'ammonium Fioul	≈ 94 ≈ 6	en vrac idem nitrates sauf : – chantiers bien aérés – forages > 40 mm
	à l'aluminium	Nitrate d'ammonium Fioul Sensibilisant (aluminium)	88 à 92 3 à 5 5 à 10	
Bouillies – Gels – Émulsions		Eau Nitrate d'ammonium, de soude ou de calcium Sensibilisant (explosif, aluminium, nitrate de monométhylamine, billes de verre) Divers (gélifiant, allégeant, réticulant, mouillant, fioul)	8 à 15 35 à 60 5 à 40 2 à 5	sensibilité aux chocs intermédiaire plus grande résistance à l'humidité vitesse de détonation 4000 m/s
Émulsions nitrates – Fiouls alourdis		Eau Nitrates minéraux Huiles diverses Sensibilisant (chimique ou billes de verre)	8 à 15 10 à 80 4 à 10 0,2 à 5	

TIR AU CORDEAU DÉTONNANT

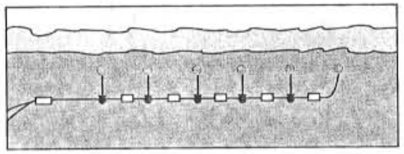
■ CORDEAU DÉTONNANT

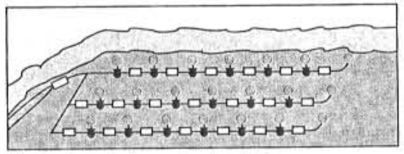
Il s'agit d'un tube flexible à âme centrale généralement en pentrite (explosif à haute vitesse sensible au détonateur). La capacité d'amorçage du cordeau est déterminée par la charge d'explosif par mètre, qui varie de 3 à 70 grammes par mètre.
Son rôle consiste à transmettre l'onde de détonation à un autre cordeau ou à l'explosif.

Les cordeaux sont utilisés :
- pour un amorçage simultané de plusieurs charges, sans véritables retards ;
- pour un amorçage multiple dans des trous de mines de grandes dimensions ;
- pour un amorçage sous-marin ou de tir d'ébranlement ;
- en tir non électrique (s'il y a risque de courants vagabonds).

■ TIR RETARDÉ AU CORDEAU DÉTONNANT

On peut obtenir un nombre non limité de courts retards en associant les cordeaux à des relais de détonation (tube aluminium serti contenant une composition pyrotechnique retardatrice de 20 à 50 millisecondes). Cette méthode est de plus en plus abandonnée au profit des retards électriques ou électroniques (voir pages 16-17).


Tir retardé sur une rangée de mines

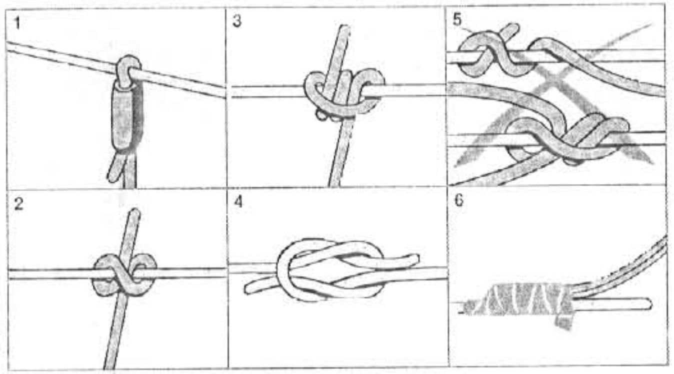

Tir retardé sur trois rangées de mines

■ TYPES DE CORDEAUX COURANTS BICKFORD

Dénomination	Couleur	Poids de pentrite	Vitesse de détonation (m/s)	Résistance à la traction (kg)	Ø extérieur moyen (mm)	Longueur totale (m)
Gammacord	bleu clair	3	6500/7000	80	4,5	800
Hericord	orange	6	6800/7300	90	4,5	800
Isoltex 10	vert	10	6800/7300	100	5,2	500
Carricord	bleu foncé	15	7000/7300	130	5,6	400
Isoltex 20/Geocord 20 (1)	vert/violet	20	6800/7300	100	6	400
Isoltex 40/Geocord 40 (1)	vert/violet	40	6200/6700	100	8,3	200
Isoltex 70	vert	70	6000/6500	100	11	250

(1) Cordeau détonant pour prospection sismique.

■ TYPES DE NŒUDS DE CORDEAUX



1. Raccord par cordo-clip.
2. Raccord par demi-clé à capeler.
3. Raccord par demi-clé à capeler double.
4. Prolongation d'un cordeau maître par un nœud carré.
5. Mauvais raccords.
6. Raccord détonateur électrique sur cordon détonant.

Sur les cordeaux maîtres : prolongation ou raccordement en utilisant le nœud 4.
Sur les cordeaux dérivés : raccordement en utilisant les nœuds 1, 2 ou 3.

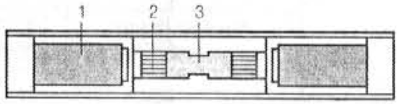
DOC. NITRO-BICKFORD

TIR AU CORDEAU DÉTONNANT (suite)

■ RELAIS DE DÉTONATION

1. Douille de protection (élément de sertissage)
2. Relais détonant
3. Élément de retard

DOC. NITRO-BICKFORD



DISPOSITIFS D'AMORÇAGE

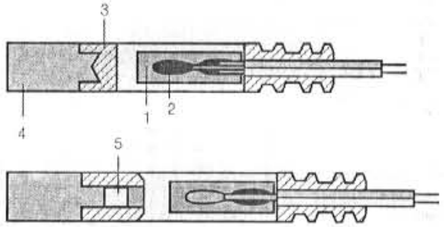
■ DÉTONATEUR ÉLECTRIQUE

• **Principe de fonctionnement**

Lorsqu'on ferme le circuit, le filament rougit, enflamme la poudre d'allumage et le détonateur explose.

détonateur instantané

détonateur à retard



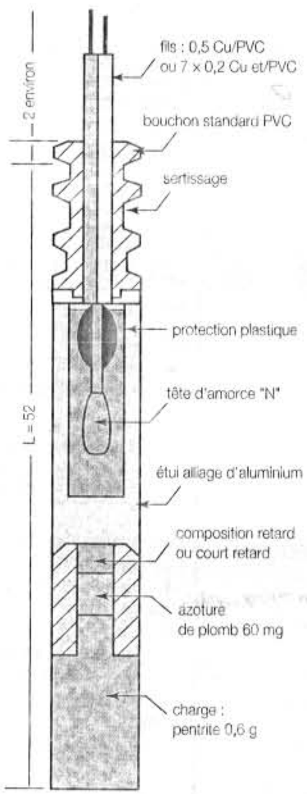
1. poudre d'allumage
2. filament
3. explosif primaire
4. explosif secondaire
5. poudre retardatrice

• **Détonateur électrique retard**

Retard		L
N°	Temps en s	en mm
R1	0,5	52
R2	1	54,5
R3	1,5	57
R4	2	59,5
R5	2,5	62
R6	3	64,75
R7	3,5	67,5
R8	4	70,5
R9	4,5	73,5
R10	5	76,5
R11	5,5	79,5
R12	6	82,5

• **Détonateur électrique court retard**

Retard		L	Retard		L
N°	Temps en ms	en mm	N°	Temps en ms	en mm
CR1	25	52	CR12	300	67,5
CR2	50		CR13	325	
CR3	75	54,5	CR14	350	70,5
CR4	100		CR15	375	
CR5	125	57	CR16	400	73,5
CR6	150		CR17	425	
CR7	175	59,5	CR18	450	76,5
CR8	200	62	CR19	475	
CR9	225		CR20	500	79,5
CR10	250	64,75			
CR11	275				



DOC. NITRO-BICKFORD

DISPOSITIFS D'AMORÇAGE (suite)

■ DÉTONATEURS À RETARD ÉLECTRONIQUE INTÉGRÉ (REI) DAVEY BICKFORD ®

Dans le détonateur classique, le retard pyrotechnique est remplacé par un mini-exploseur programmable.

Cette programmation est faite dans le trou de mine par une console de programmation, pour des temps de retard compris entre 1 et 3 000 ms.

La charge du condensateur de mise à feu et son déclenchement sont télécommandés depuis le poste de tir par une console de tir.

Dans cette configuration, tous les détonateurs sont montés en parallèle, sur deux fils uniquement.

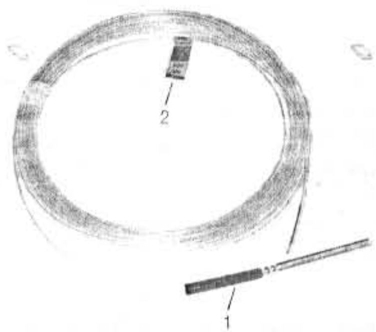
La console de programmation effectue en bout de ligne, depuis le poste de tir, la vérification de toutes les fonctionnalités de chaque détonateur puis la commande synchrone de tous les décomptes de millisecondes de retard de chaque exploseur intégré dans chaque détonateur.

■ SYSTÈME DAVEYNEL ®

Il se compose :

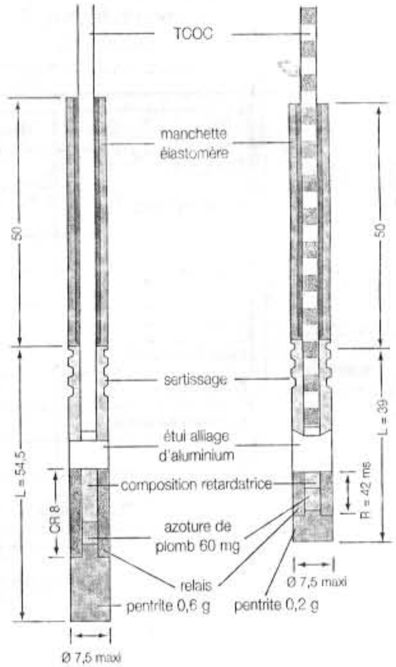
- d'un détonateur à explosif primaire, (très sensible aux chocs contenus dans un tube relais) serti à l'abri d'une manchette de protection sur le tube conducteur d'ondes de choc (TCOC) ;
- d'un tube conducteur d'onde de choc (TCOC) traité contre les ultraviolets ;
- de raccords Daveynel chargés à 200 mg d'explosifs secondaires assurant la bonne transmission aux tubes conducteurs d'onde de choc (TCOC).

Détonateur de type retard et court-retard



1. Serti sur un tube conducteur d'onde de choc (TCOC) d'une certaine longueur dont l'autre extrémité est obturée.
2. Une étiquette autocollante indique le numéro et le temps nominal du retard ou du court-retard.

N° retard	Nombre de retards	Intervalle de temps
CR N° 3 - 20	18	25 ms
CR N° 24 - 48	7	100 ms
CR N° 56 - 80	4	200 ms
R N° 1 - 8	8	500 ms



L'amorçage peut se faire :

- avec un pistolet de starter relié au tube conducteur d'onde de choc (TCOC) ;
- avec un détonateur électrique ;
- avec du cordeau détonant (recommandé en travaux souterrains).

DOC. NITRO-BICKFORD

EXPLOSEUR

Cet exploseur (Neptune) est destiné au tir en série de détonateurs basse intensité et moyenne intensité.



DOC. NITRO-BICKFORD

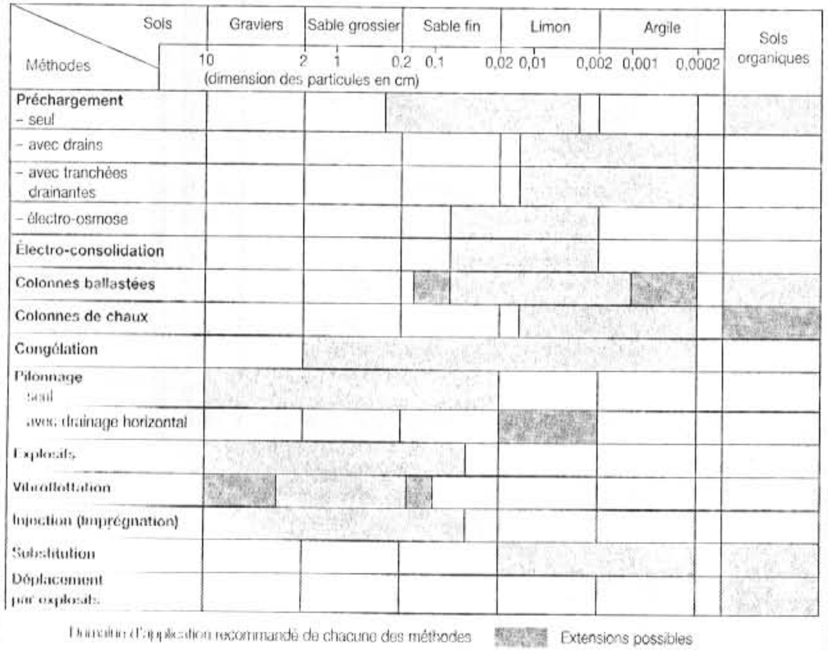
1.5 AMÉLIORATION DES SOLS DE FONDATION

PRINCIPALES MÉTHODES

But :
- Augmenter la portance d'un sol en vue de la construction d'un ouvrage.

Principes :
- Augmenter la contrainte effective de préconsolidation en permettant aux pressions interstitielles de se dissiper plus rapidement :
  - préchargement avec ou sans drainage (usage courant),
  - électroconsolidation (usage peu courant et d'emprise limitée).
- Renforcer le sol :
  - colonnes ballastées
  - colonnes de chaux
  - congélation (renforcement provisoire).
- Compacter le sol ou modifier son arrangement granulaire :
  - pilonnage avec ou sans drainage (ex. consolidation dynamique Menard)
  - vibrocompactage
  - utilisation d'explosifs.
- Substituer le sol en place par un remblai de meilleures caractéristiques (volumes limités).

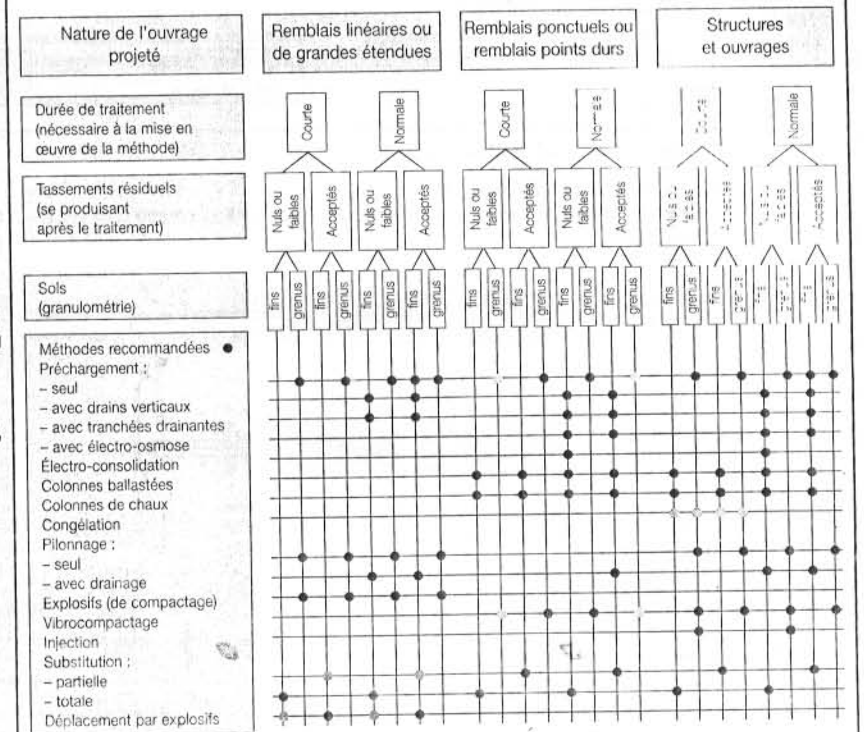
DOMAINE D'APPLICATION DES MÉTHODES EN FONCTION DE LA TAILLE DES GRAINS DU SOL



Note : les limites des méthodes sont relatives au Ø 50 de la courbe granulométrique des sols.

DOC. SETRA/LCPC

DOMAINE D'APPLICATION DES MÉTHODES EN FONCTION DU TYPE D'OUVRAGE, DE LA DURÉE DE TRAITEMENT, DES TASSEMENTS RÉSIDUELS, ET DU SOL



Méthodes adaptées aux cas particuliers : décharges, résidus urbains ou traitements locaux.
Pour une structure en remblai, voir « Structures et ouvrages ».
Sol amélioré seulement pendant le traitement.

DOC. SETRA/LCPC

1.6 GÉOTEXTILES ET GÉOMEMBRANES

GÉOTEXTILES

■ UTILISATION

Les géotextiles sont utilisés pour leurs propriétés mécaniques (ouvrages de soutènement, renforcement de sols ou de structures de chaussées, séparation des matériaux...) et pour leurs propriétés hydrauliques (filtration, drainage...).

• **Fonctions des géotextiles en géotechnique**

Nature d'ouvrage	Séparation	Filtration	Drainage	Renforcement	Commentaires
Piste, Couche de forme, Voie à faible trafic, Aire de stockage	X	X	O	O	X fonction indispensable systématiquement
Aire de sport et de loisir	X	O	O		
Voie ferrée	X	X	X		
Remblai sur sol mou	X	X	O		
Remblai renforcé sur sol mou	X	X	O	X	O fonction indispensable dans certaines conditions d'ouvrage
Massif en sol renforcé		O	O	X	
Filtre de dispositif drainant		X			
Filtre-drain		X	X		
Protection de berge		X	O	O	

DOC. PH. DELMAS, COMITÉ FRANÇAIS DES GÉOTEXTILES ET GÉOMEMBRANES

GÉOTEXTILES (suite)

■ PROPRIÉTÉS

Ils sont réalisés à partir de polymères étirés (polyester, polypropylène, polyéthylène), ce qui explique les propriétés de résistance en traction et de durabilité.

- **Sur le plan hydraulique**

Forte perméabilité associée à un diamètre de filtration faible (= 100 µm).

- **Sur le plan mécanique**

Bonne résistance en traction, durabilité, et adaptation à la géométrie du support (bonne adhérence).

■ TYPES

- **Géotextiles non tissés**

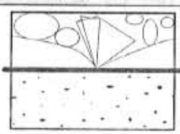
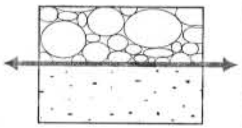
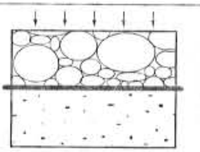
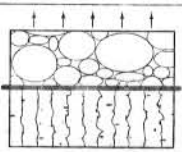
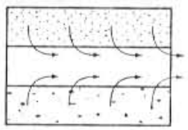
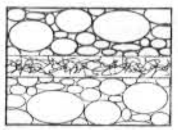
Nappes de filaments continus ou de fibres coupées disposées de façon aléatoire et liées par aiguilletage ou thermoliage.

- **Géotextiles tissés**

Entrecroisement de 2 nappes de fils ou bandelettes perpendiculaires liées éventuellement par un troisième fil.

- **Apparentés géotextiles**
  - les géogrilles ;
  - les géoespaceurs ;
  - les géocomposites ;
  - les géoconteneurs.

■ FONCTION DES GÉOTEXTILES

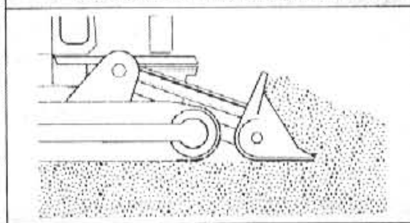
Propriétés	Fonctions		Caractéristiques	Normes d'essai
Mécaniques	**Protection** Placé entre une géomembrane et le sol support ou la couche de protection, le géotextile absorbe les contraintes localisées et protège la géomembrane des perforations.		Épaisseur Résistance au poinçonnement	NF G 38-012 NF G 38-019
	Renforcement Placés à intervalles réguliers, les géotextiles développent des efforts de traction que le sol ne peut reprendre et augmente la résistance globale du massif renforcé. À la base des remblais sur sols mous, ils augmentent la stabilité de ceux-ci et permettent ainsi de réduire le nombre de phases de construction.		Résistance à la traction Raideur Frottement Adhérence	NF G 38-014 NF G 38-014 (en cours)
	Séparation Placé entre deux matériaux différents, le géotextile empêche leur mélange sous l'effet des sollicitations mécaniques telles que le trafic.		Porométrie Résistance à la traction Allongement à l'effort maximum	NF G 38-017 NF G 38-014 NF G 38-014
Hydrauliques	**Filtration** Par sa structure fibreuse, le géotextile empêche le passage des particules fines tout en restant très perméable. Il remplace maintenant couramment les matériaux granulaires même dans les ouvrages aussi délicats que les barrages.		Porométrie Permittivité Souplesse	NF G 38-017 NF G 38-016 (en cours)
	Drainage Épais et de forte porosité, le géotextile permet de transporter des débits d'eau notables dans leur épaisseur et donc de drainer les sols.		Permittivité Transmissivité Épaisseur	NF G 38-017 NF G 38-018 NF G 38-012
	Conteneurisation Par sa porosité, le géotextile permet, de contenir un liant bitumineux à l'interface de deux couches de chaussées et, sinon d'empêcher, au moins de retarder la propagation des fissures vers le dessus de la chaussée et de constituer une couche d'étanchéité.		Épaisseur Résistance mécanique	NF G 38-012 (essai LRPC Autun)

DOC. PH. DELMAS, COMITÉ FRANÇAIS DES GÉOTEXTILES ET GÉOMEMBRANES

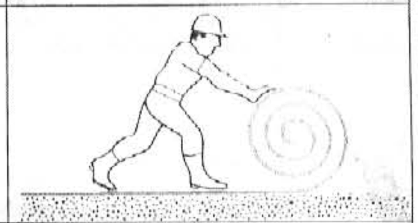
GÉOTEXTILES (suite)

■ MISE EN ŒUVRE

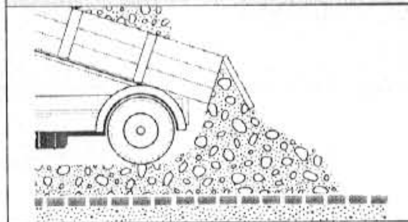
1. Décapage et nivellement du terrain



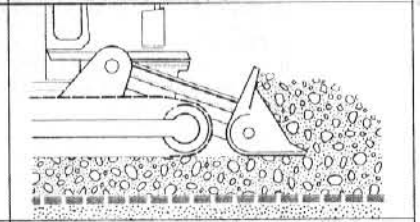
2. Déroulement de la nappe



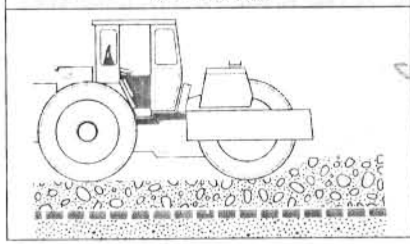
3. Apport de graves à l'avancement



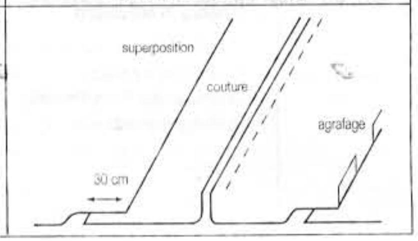
4. Régalage du matériau apport



5. Compactage



6. Méthodes d'assemblages

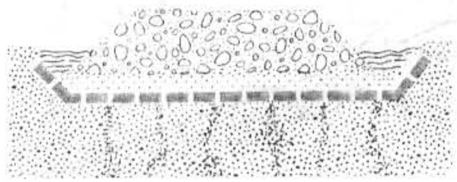


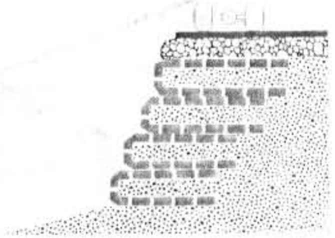
DOC. BIDIM

■ APPLICATIONS

- **Terrassements généraux**

- Voies d'accès et pistes de chantiers
- Chemins forestiers et agricoles
- Couches de forme
- Aires de stockage
- Remblais sur sols compressibles
- Plates-formes d'usines
- Massifs multicouches





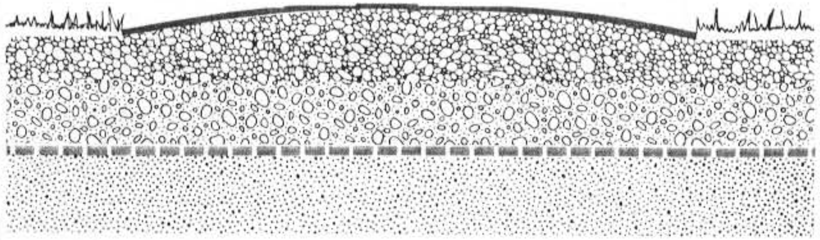
DOC. BIDIM

GÉOTEXTILES (suite)

- **Travaux routiers**

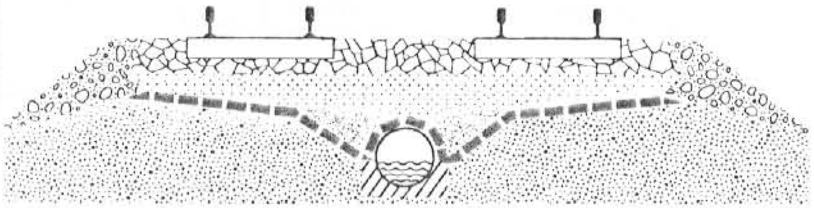
- Couches de forme de routes, autoroutes
- Pistes d'aéroports
- Aires de stationnement-parkings
- Chaussées à faible trafic
- Routes non revêtues.

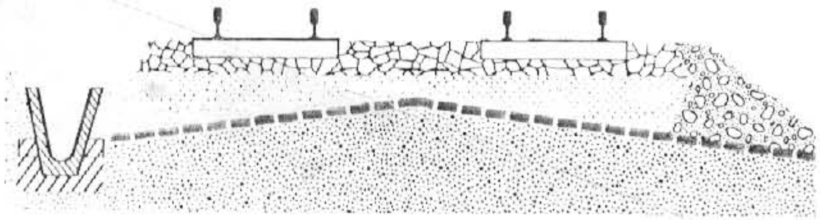
Écran filtrant et anticontaminant



- **Travaux ferroviaires**

- Stabilisation de plates-formes
- Protection de talus
- Drainage des accotements
- Drainages ponctuels.

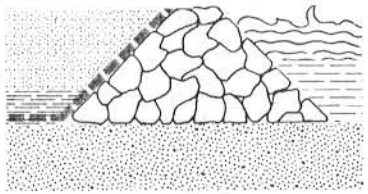


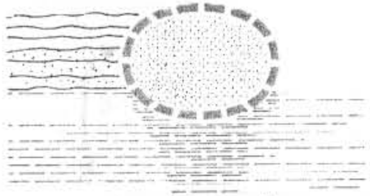


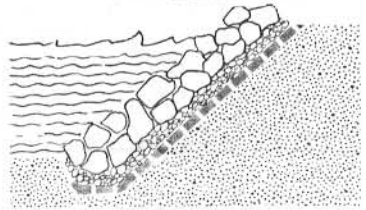
DOC. BIDIM

GÉOTEXTILES (suite)

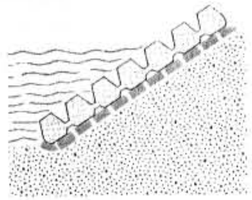
- **Travaux maritimes**
- Protection des berges
- Défense de côtes (digues)
- Remblais hydrauliques.

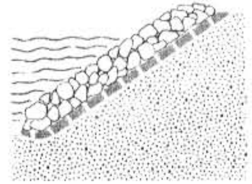


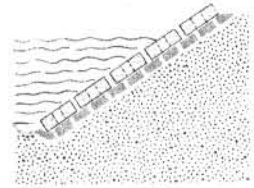




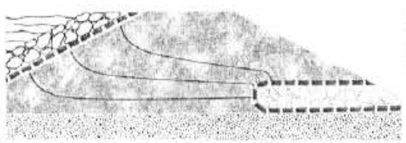
- **Transports fluviaux**
- Protection anti-érosion
- Protection de berges de voies navigables
- Parafouilles.

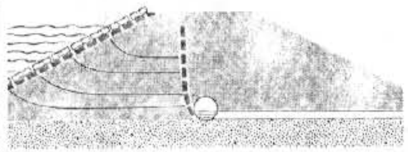




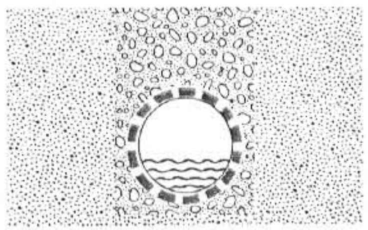


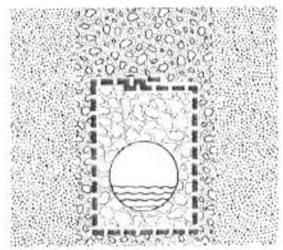
- Travaux hydrauliques
- Canaux d'irrigation
- Massifs multicouches
- Barrages en terre
- Retenues collinaires.





- Drainage - Assainissement
- Enveloppes de tuyaux drainants
- Assises de canalisations d'assainissement
- Mèches drainantes. Drains verticaux
- Enveloppes de tranchées drainantes.

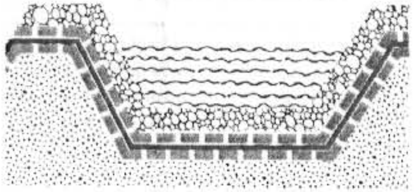




DOC. BIDIM

GÉOTEXTILES (suite)

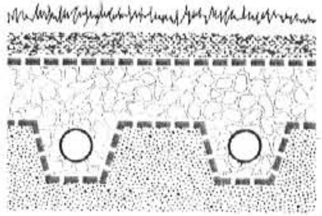
- **Protection**
- de membranes d'étanchéité (films, feuilles) ;
- d'ouvrages hydrauliques (barrages, canaux d'irrigation) ;
- de canalisations enterrées (gazoducs, oléoducs).

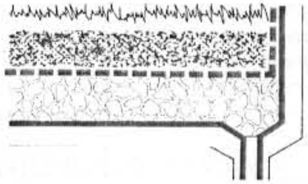


- **Espaces verts – Terrains de sport**
- Allées de jardins – Bacs à fleurs
- Jardins sur terrasses
- Aires de jeux – Hippodromes – Carrières équestres.

Évite la pollution et le colmatage des matériaux graveleux par le sol de fondation et la terre végétale.

Dans les jardins sur terrasses, bacs à fleurs, etc., le géotextile par son effet anticontaminant :
- maintient la couche drainante en parfait état de propreté,
- élimine la migration de particules fines dans les systèmes d'évacuation des eaux pluviales.





■ CARACTÉRISTIQUES

	Références Bidim	b111	b222	b333	b444	b555	b666	b777
Résistance à la traction NF G 38-014	* SP et ST kN/m	5 classe 2	8 classe 3	10 classe 3	12 classe 4	16 classe 5	20 classe 6	25 classe 7
Déformation à l'effort maximal NF G 38-014	* SP et ST %	60/50 classe 10/9	60/50 classe 10/9	60/52 classe 10/9	62/55 classe 10/9	62/55 classe 10/9	62/55 classe 10/9	65/57 classe 10/9
Résistance à la déchirure NF G 38-014	* SP et ST kN/m	0,3 classe 4	0,4 classe 4	0,6 classe 5	0,6/0,7 classe 5	0,9 classe 6	1,1 classe 6	1,2 classe 7
Résistance au poinçonnement NF G 38-014	kN	0,4 classe 3	0,5 classe 3	0,7 classe 4	0,8 classe 5	1,0 classe 6	1,1 classe 6	1,2 classe 7
Permitivité NF G 38-016	s^{-1}	5 classe 10	3 classe 9	3 classe 9	2 classe 9	2 classe 9	1,5 classe 8	1 classe 8
Ouverture de filtration NF G 38-017	µm	120 classe 6	100 classe 7	97 classe 7	95 classe 7	80 classe 8	80 classe 8	75 classe 8
Transmissivité NF G 38-017	* SP/ST $10^{-7} m^2/s$ 50 kPa	1/1 classe 5/5	2/2 classe 6/6	6/6 classe 7/7	10/10 classe 8/8	15/15 classe 8/8	20/20 classe 9/9	40/40 classe 9/9
	* SP/ST $10^{-7} m^2/s$ 200 kPa	<1/<1 classe 4/4	1/1 classe 5/5	2/2 classe 6/6	2/2 classe 6/6	4/4 classe 6/6	5/5 classe 7/7	10/10 classe 8/8
Masse surfacique NF G 38-013	g/m^2	95	125	160	180	235	275	365
Épaisseur (sous 2 kPa) NF G 38-012	g/m^2	95	125	160	180	235	275	365

(*) SP : Sens Production – ST : Sens Travers

Nouveau conditionnement		b111	b222	b333	b444	b555	b666	b777
Longueur des rouleaux	m	200	200	200	200	100	100	100
Largeur des rouleaux	m	2,00 m			4,00 m		6,00 m	
Surface des rouleaux	m^2	2 m = 400 m^2 – 4 m = 800 m^2 – 6 m = 1200 m^2				2 m = 200 m^2 – 4 m = 400 m^2 – 6 m = 600 m^2		

DOC. BIDIM

GÉOTEXTILES (suite)

■ APPLICATIONS

Sols support		Bon Cu > 60 kPa	Moyen 20 < Cu < 60	Mauvais Cu < 20 kPa
Pistes de chantier	– Ornière 5 cm – 50 à 100 PL/J – 50 à 100 000 t – Couche apport 45 cm grave argileuse	b222	b444	b666
Voies à faible trafic	– Ornière 10 cm – 10 PL/J – 1 000 à 10 000 t – Couche apport 40 cm grave argileuse	b111	b333	b555
Couche de forme Fond de forme	– Ornière 3 cm – 100 PL/J – 100 000 t – Couche apport 50 cm grave propre	b333	b555	b777
Remblais sur col compressible	– Petite hauteur	b666	b777	Bidim rock (1)
	– Grande hauteur	Bidim rock (1)		
Travaux maritimes – Défense de côtes Protection de berges – Enrochements	3 à 5 t avec couche de transition 25 à 30 cm	b777	S550 (1)	S700 (1)
Tranchées drainantes (filtre)		b222	b333	b444
Drainage ouvrage d'art – Drainage gros débit		Bidim mégadrain (1)		
Terrains de sport (filtre anticontaminant)		b444		
Bassins d'agrément / Décharge contrôlée (protection de géomembranes)		b666		b777
Jardins suspendus sur dalles		b333		

Nota : Les recommandations ci-dessus sont données à titre indicatif, le choix du géotextile restant sous la responsabilité du maître d'œuvre.

(1) Consulter le fabricant
Cu : Cohésion non drainée du sol support
PL/J : poids lourds par jour

DOC. BIDIM

GÉO-MEMBRANES

■ UTILISATION

Les géomembranes sont utilisées pour leurs propriétés d'étanchéité permanente vis-à-vis d'un liquide.

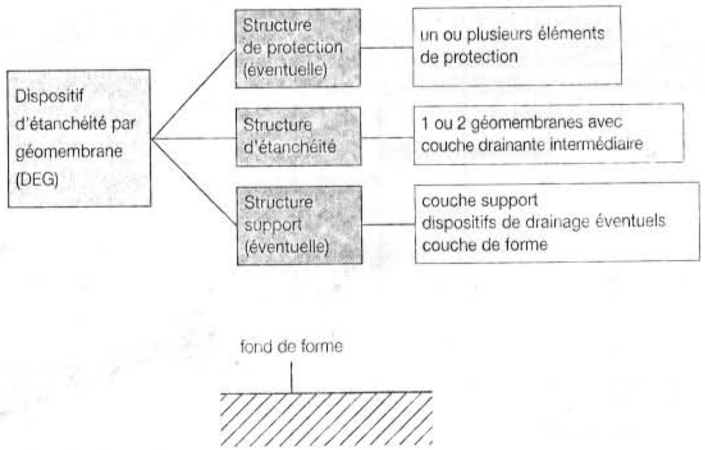
■ PROPRIÉTÉS

Elles sont souples, minces, continues et étanches aux liquides. Leur épaisseur est de l'ordre de 1 mm. En fonction des exigences mécaniques du chantier, elles pourront être armées ou non.

■ TYPES

Elles sont réalisées :
- à partir de polymères de synthèse (PVC, PE, EPDM, PP, Butyl,...),
- à base de bitume (bitume pur ou modifié).

■ STRUCTURE



DOCUMENT PH. DELMAS – JOURNÉE DU COMITÉ FRANÇAIS DES GÉOTEXTILES ET GÉOMEMBRANES – BORDEAUX 15/12/94

GÉO-MEMBRANES (suite)

Géomembrane	non armée		armée		
	Manufacturée (calandrage-extrusion)	Fabriquée en place	Manufacturée (calandrage-extrusion)	Manufacturée (imprégnation-enduction)	Fabriquée en place (3)
non composée	monopli (2)	–	–	armée (1)	monocouche armée
non composée	multipli (2)	–	multipli armée (2)	–	multicouche armée
composée	composée monopli (2)	–	–		–
composée	composée multipli (2)	–	composée multipli armée	–	–

(1) Géomembrane bitumineuse (principalement)
(2) Géomembrane de synthèse
(3) Bitume ou résines coulées ou projetées

Armature

Matériau associé

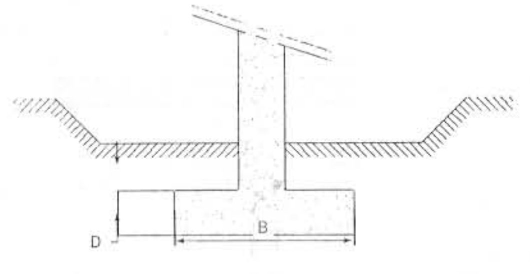
DOCUMENT PH. DELMAS – JOURNÉE DU COMITÉ FRANÇAIS DES GÉOTEXTILES ET GÉOMEMBRANES – BORDEAUX 15/12/94

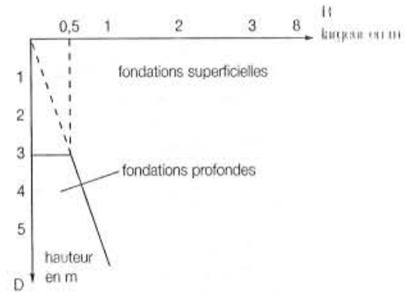
1.7 ENGINS DE TERRASSEMENT

Utilisation \ Engin	bouteur	décapeuse	tombereau	dumpeur	compacteur	niveleuse	chargeur	pelle mécanique ou hydraulique
terrassements routiers	■	■	■	■	■	■	■	■
remblaiement	■						■	avec reprise
déblaiement	défrichage	■					■	■
transport court			■	■			■	
transport long		■	■	■				
répandage	■	■	■				■	
réglage grossier	■					■		en talus
réglage fin						■		
compactage					■			
extraction grande masse							■	en butte, rétro, benne preneuse
levage pose canalisations								■
travaux VRD					■	■	■	■

2 FONDATIONS - OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT

La fondation est l'élément de la structure en interaction avec le sol. Son rôle est d'assurer la stabilité de l'ouvrage. On évaluera les charges qu'elle transmettra au sol par un calcul de descente de charges.
La mécanique des sols permettra d'évaluer la contrainte et la déformation que le sol pourra supporter.
La fondation sera considérée **superficielle ou profonde** suivant la valeur de D/B (DTU 13.1).





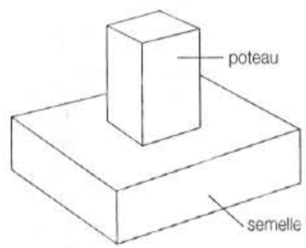
Le dimensionnement de la section de béton en contact avec le sol se fait en fonction :
- des charges qu'elle transmet au sol rapportées à la section de béton en contact avec le sol, ce rapport devant être inférieur ou égal à la contrainte que le sol peut supporter,
- du calcul de tassement, inférieur ou égal au tassement admissible, sans tassements différentiels.

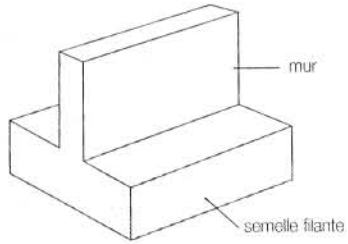
2.1 FONDATIONS SUPERFICIELLES

TYPES

Les quatre types de fondations superficielles :
- fondations en rigoles (toujours filantes),
- fondations rigides (isolées ou filantes),

Elles peuvent être isolées ou filantes :
- fondations souples (isolées ou filantes),
- radiers de fondation.



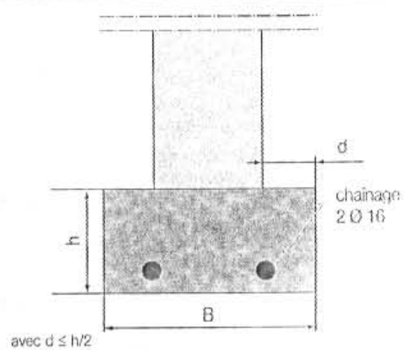


FONDATIONS EN RIGOLES

■ RÔLE

Diffuser au sol les charges des murs continus porteurs ou non des ouvrages de petite importance (garage, villa, constructions légères...).

■ CARACTÉRISTIQUES
- Section rectangulaire avec d ≤ h/2 (condition de rigidité).
- Coffré en pleine fouille : largeur de godet 40 à 60 cm.
- Armatures forfaitaires (chaînage 2 Ø 16).
- Béton faiblement dosé (150 à 250 kg/m³).
- Économique mais sensible aux tassements différentiels.



FONDATIONS RIGIDES EN BÉTON ARMÉ (semelles massives sols portants vis-à-vis des charges)

■ RÉALISATION D'UNE SEMELLE

1° Implantation.
2° Terrassement.
3° Béton de propreté et tracé des axes.
4° Mise en place du coffrage.
5° Mise en place des armatures.
6° Mise en œuvre du béton.
7° Décoffrage.

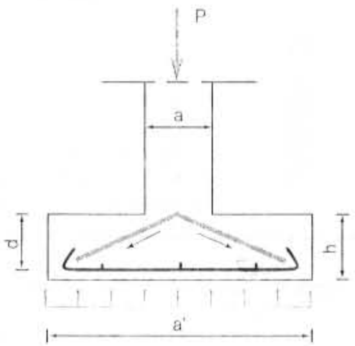
■ CONCEPTION

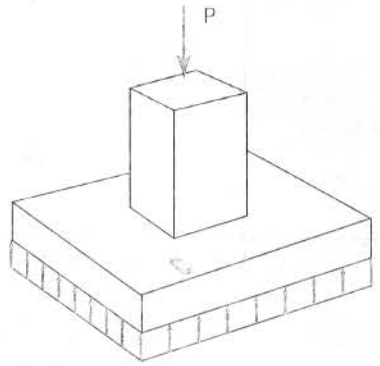
Les proportions entre les dimensions de largeur minimale B et de hauteur utile H de la fondation sont telles qu'elles impliquent une certaine massivité et une grande rigidité de la semelle. La diffusion des charges se fait par l'intermédiaire de bielles de compression.

Les bielles de compression ayant tendance à s'écarter les unes des autres, une armature viendra en assurer la « couture ».

Hauteur totale H_t = Hauteur utile H + 5 cm d'enrobage des aciers

$$\text{Hauteur totale } H_t \geq \frac{\text{(largeur minimale B semelle – largeur minimale b mur ou poteau)}}{4} + 5\text{ cm}$$

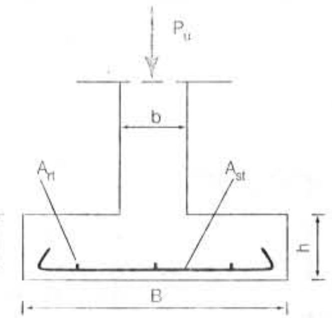


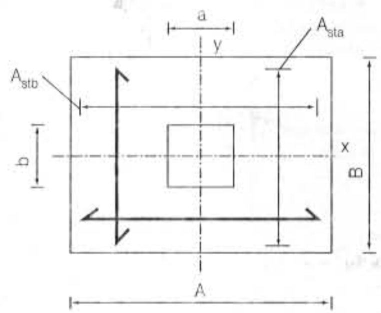


■ FORMULE DE DIMENSIONNEMENT DES ARMATURES PAR LA MÉTHODE DES BIELLES

semelles filantes : $A_{st} = \dfrac{P_u\,(B-b)}{8 \cdot d \cdot \sigma_{st}}$ et $A_{rt} = \dfrac{A_{st}}{4}$

semelles isolées : $A_{stB} = \dfrac{P_u\,(B-b)}{8 \cdot d \cdot \sigma_{st}}$ et $A_{stA} = \dfrac{P_u\,(A-a)}{8 \cdot d \cdot \sigma_{st}}$





NB : sections des semelles isolées et poteaux homothétiques.

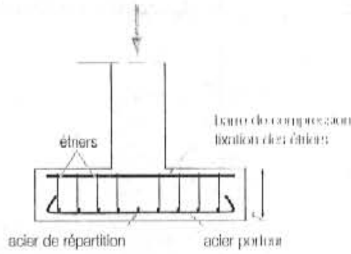
FONDATIONS SOUPLES EN BÉTON ARMÉ

Le sol est peu portant vis-à-vis des charges, la surface de fondation devant être importante, on limitera donc le poids et le coût de réalisation (volume de béton) de la semelle.

La condition de rigidité n'est pas vérifiée :

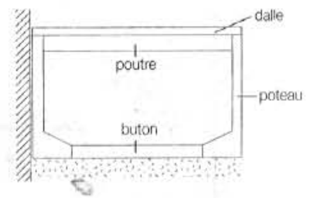
$$\text{Hauteur totale } H_t < \frac{\text{(largeur minimale B semelle – largeur minimale b mur ou poteau)}}{4} + 5\text{ cm}$$

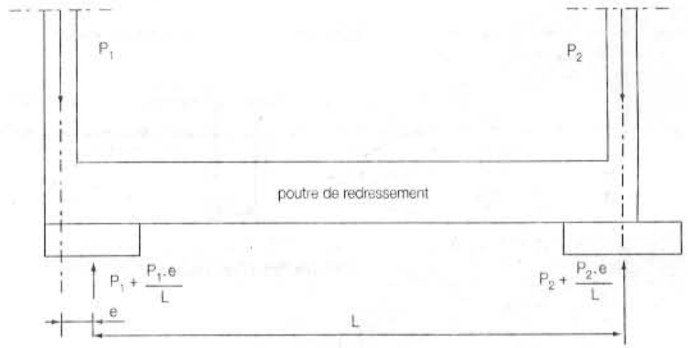
La semelle présente est large et de faible hauteur. Elle va donc fléchir et se comporter comme deux demi-consoles inversées. Elle sera armée et se calculera en flexion en béton armé.

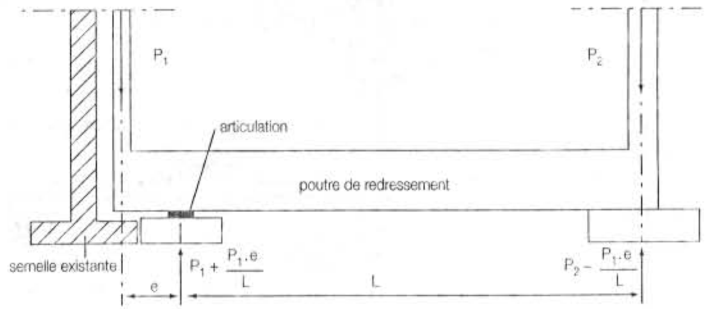


■ SOLUTIONS POSSIBLES POUR SEMELLES ISOLÉES EXCENTRÉES





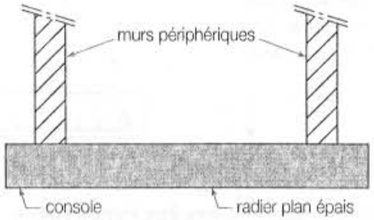




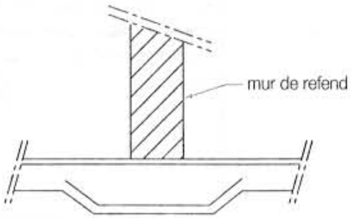
RADIER PLAN ÉPAIS

■ **CARACTÉRISTIQUES**

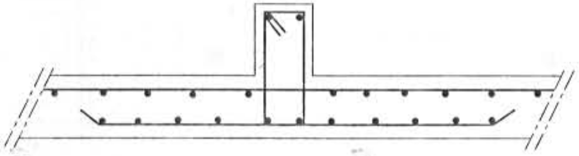
- Il s'agit d'une dalle d'épaisseur uniforme (e < 30 cm avec e = 1/20 mL).
- Le coffrage n'est nécessaire que sur le pourtour.
- Les armatures sont disposées en quadrillage serré.
- Facile et rapide à réaliser, le volume important de béton est important, ce qui surcharge singulièrement le sol. Cette solution est économique pour de petites « emprises » de bâtiment.



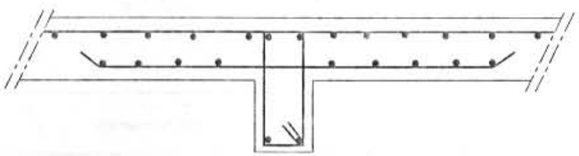
Radier renforcé



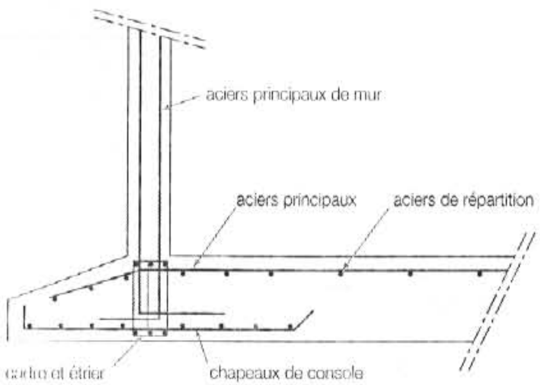
Dalle en partie inférieure de radier



Dalle en partie supérieure de radier



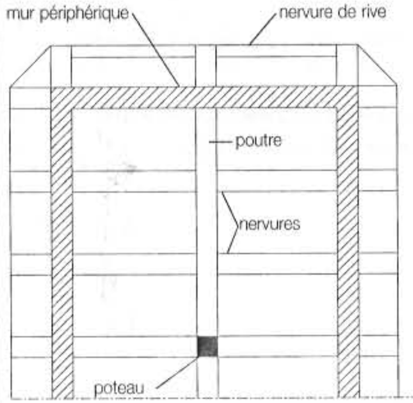
Armatures d'un radier plan épais

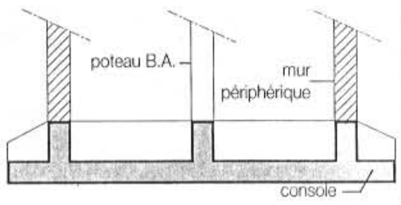


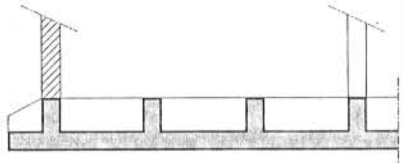
RADIER PLAN NERVURÉ

■ **CARACTÉRISTIQUES**

- Il s'agit d'une dalle mince avec nervures et poutres transversales espacées de 2,50 à 3,50 m. On le compare à un plancher renversé.
- Le coffrage et le ferraillage sont complexes et délicats.
- Difficile et onéreux à réaliser, ce « plancher renversé » utilise plus rationnellement la matière. Cette solution est économique pour de grandes emprises de bâtiment.



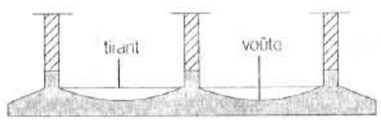


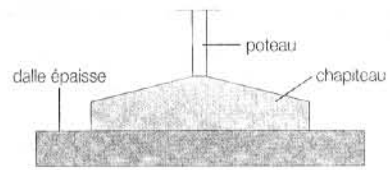


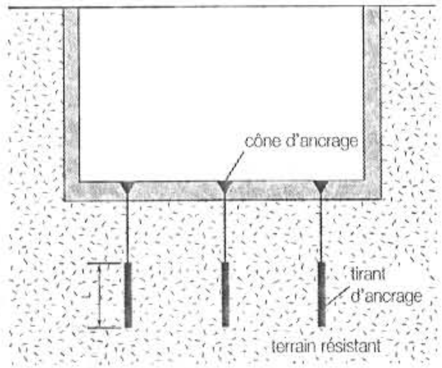
RADIER PLAN VOÛTÉ ET PLANCHER CHAMPIGNON RENVERSÉ

■ **CARACTÉRISTIQUES**

- Il s'agit d'une dalle voûtée avec tirants ou d'un plancher champignon renversé.
- Le coffrage, le ferraillage et le bétonnage sont très délicats à mettre à l'œuvre.
- Plus difficile et onéreux à réaliser, ces radiers utilisent rationnellement la matière. Ces solutions sont rarement mises en œuvre.







2.2 FONDATIONS PROFONDES

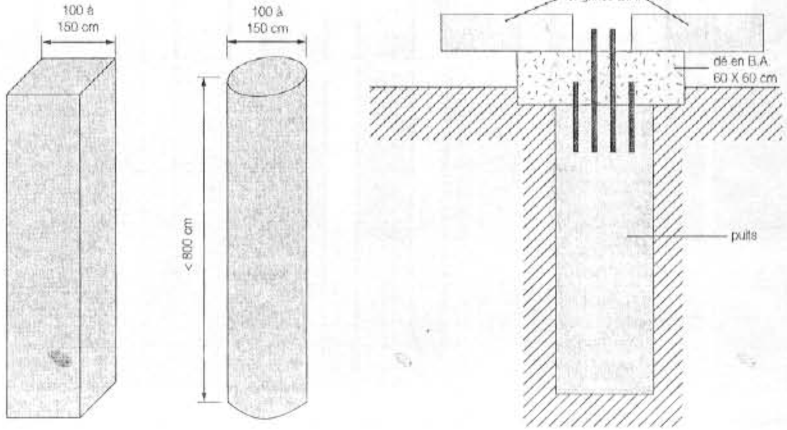
FAMILLES

Il existe quatre familles de fondations profondes :
- les **puits et barrettes** (grosses sections Ø > 1,20 m, faibles profondeurs z ≤ 8 m),
- les **pieux** (petites sections Ø ≤ 1,20 m, grandes profondeurs),
- les **micro-pieux** (très petites sections),
- les **parois** (associées à la structure).

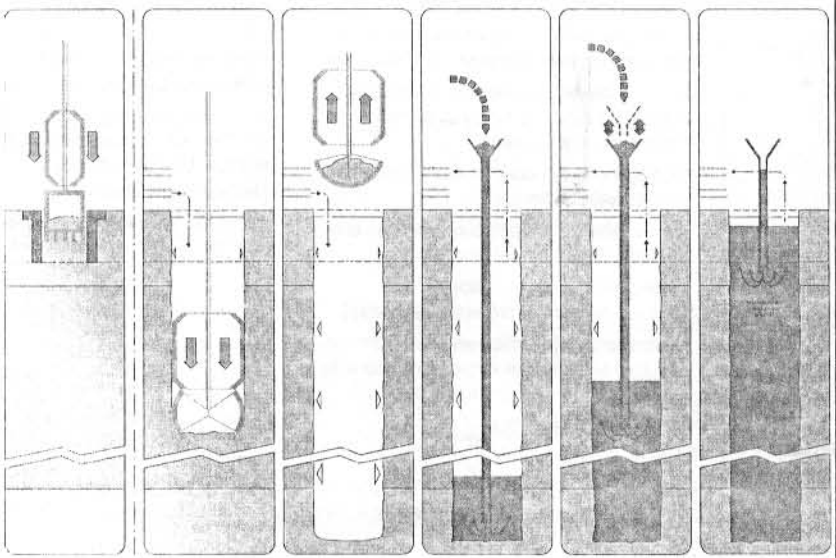
PUITS ET BARRETTES

Exécutés à la tarière ou avec la benne de la pelle mécanique, ils sont coulés en pleine fouille ou à l'intérieur d'une buse d'assainissement (sol pulvérulent). Ils sont non armés et réalisés en gros béton. Un plot (ou un dé béton vient les coiffer et assurer la liaison à la structure).

- **Puits sections carrée et circulaire**



- Barrette



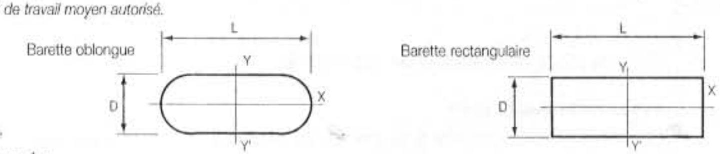
DOC.FONDACO

PUITS ET BARRETTES (suite)

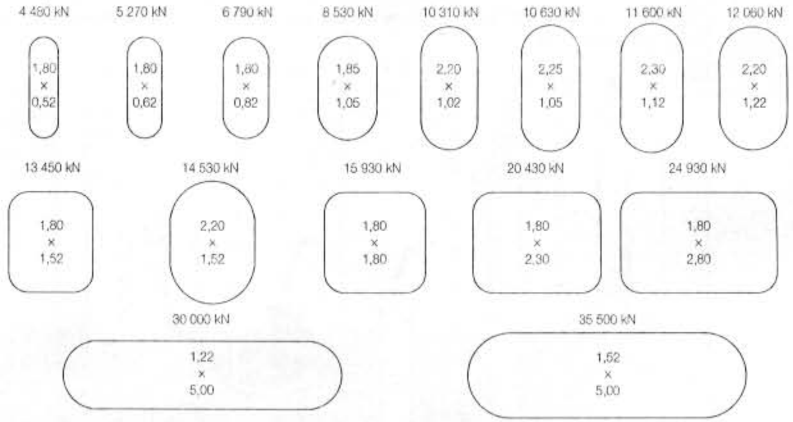
Exemples d'appuis barrettes ayant la section d'une benne

Dimensions	Section	Périmètre	Force portante en kN pour un taux de travail moyen de					Iy	Iy/v	My_0	Ix	Ix/v	Mx_0
m	m²	m	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	m⁴	m³	kN.m	m⁴	m³	kN.m
1,80 × 0,52	0,8779	4,19	900	1 790	2 690	3 550	4 480	0,211	0,235	590	0,019	0,071	180
× 0,62	1,0335	4,30	1 050	2 110	3 160	4 220	5 270	0,244	0,271	680	0,031	0,099	250
× 0,82	1,3317	4,53	1 360	2 720	4 080	5 430	6 790	0,303	0,337	840	0,067	0,164	410
× 1,02	1,6127	4,76	1 640	3 290	4 930	6 580	8 220	0,356	0,395	990	0,122	0,239	600
2,20 × 0,52	1,0580	4,99	1 110	2 220	3 320	4 430	5 540	0,398	0,362	910	0,023	0,089	220
× 0,62	1,2815	5,10	1 310	2 610	3 540	5 230	6 540	0,462	0,420	1 050	0,038	0,124	310
× 0,82	1,6597	5.33	1 690	3 390	5 060	6 770	8 460	0,580	0,527	1 320	0,065	0,208	520
× 1,02	2,0207	5,56	2 060	4 120	6 180	5 240	10 310	0,056	0,624	1 560	0,157	0,308	770
× 1,22	2,3646	5,79	2 410	4 820	7 240	9 650	12 060	0,782	0,7111	1 780	0,257	0,421	1 050
× 1,52	2,8481	6,13	2 910	5 810	8 720	11 620	14 530	0,909	0,827	2 070	0,461	0,607	1 520
2,70 × 0,82	2,0597	6,33	2 110	4 220	6 330	5 440	10 560	1,115	0,826	2 370	0,108	0,265	660
× 1,02	2,5307	6,56	2 580	5 160	7 740	10 330	12 910	1,330	0,955	2 460	0,201	0,395	990
3,00 × 1,02	3,050	8,04	3 120	6 240	9 360	12 480	15 510	2,295	1,530	3 820	0,265	0,520	1 300
× 1,22	3,660	8,44	3 730	7 470	11 200	14 930	18 670	2,745	1,830	4 600	0,453	0,744	1 860
× 1,52	4,560	9,04	4 650	9 300	13 950	18 600	23 260	3,420	2,280	5 700	0,577	1,155	2 890

My_0 et Mx_0 sont les moments auxquels les appuis peuvent résister sans armatures à condition d'être chargés à la moitié du taux de travail moyen autorisé.

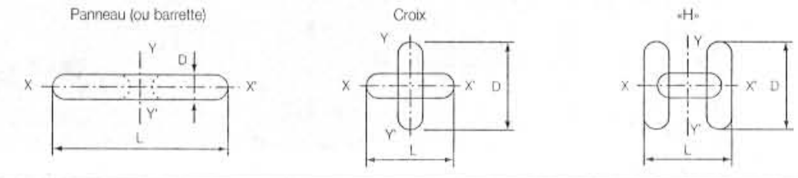


Exemples



- **Appuis multiformes**

La juxtaposition de coups de bennes permet d'obtenir des appuis multiformes :



DOC. SOLÉTANCHE

PIEUX

PIEUX EN BÉTON PRÉFABRIQUÉ OU PIEUX EN PROFILÉS MÉTALLIQUES

Ils peuvent être exécutés par :

- battage à l'aide d'un mouton à simple ou double effet ou diesel,
- fonçage à l'aide d'un vérin (+ vibrofonçage éventuel pour les couches dures).

Les pieux sont battus au refus. Il s'agit de tubes épais (diamètre entre 20 et 80 cm) ou de profilés en H protégés de la corrosion par un revêtement de peinture spéciale, une injection périmétrale. Pour les protéger, on peut également surdimensionner l'épaisseur d'acier en tenant compte de la durée de vie du profilé.

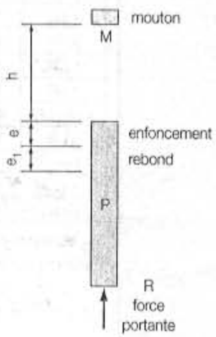
La force portante, constatée au cours du fonçage, est déterminée par la formule des Hollandais issue de celle de Cummings.

• Formule générale de Cummings

$$Mh = (R - M - P)\,e + R\left(\frac{e_1}{2}\right) + \frac{MPh}{M + P}\,(1 - k^2)$$

k = 0 : choc mou k = 1 : choc élastique

Énergie de battage = énergie utile + pertes élastiques + chocs



• Formule des Hollandais

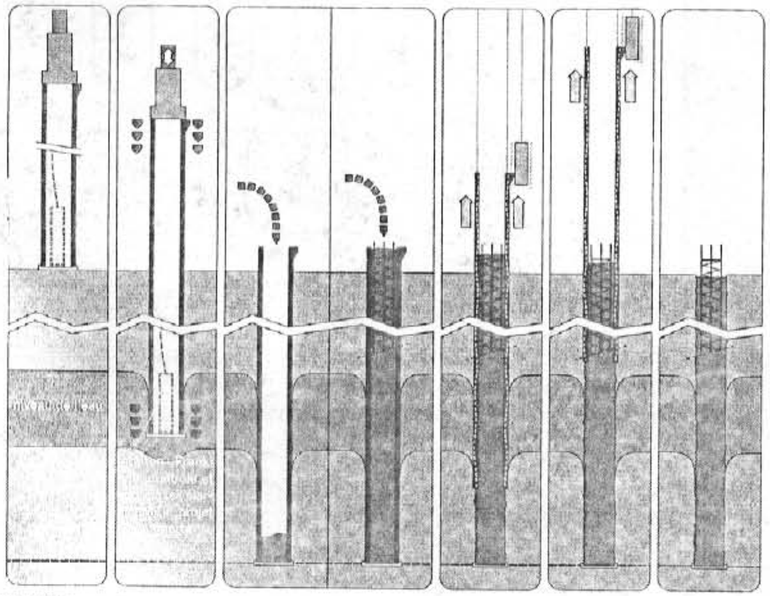
Celle-ci considère $k = 0 . e_1 = 0$

$$R = \frac{M^2 h}{(M - P)\,e}$$

On lui applique un coefficient de sécurité ≥ 6.

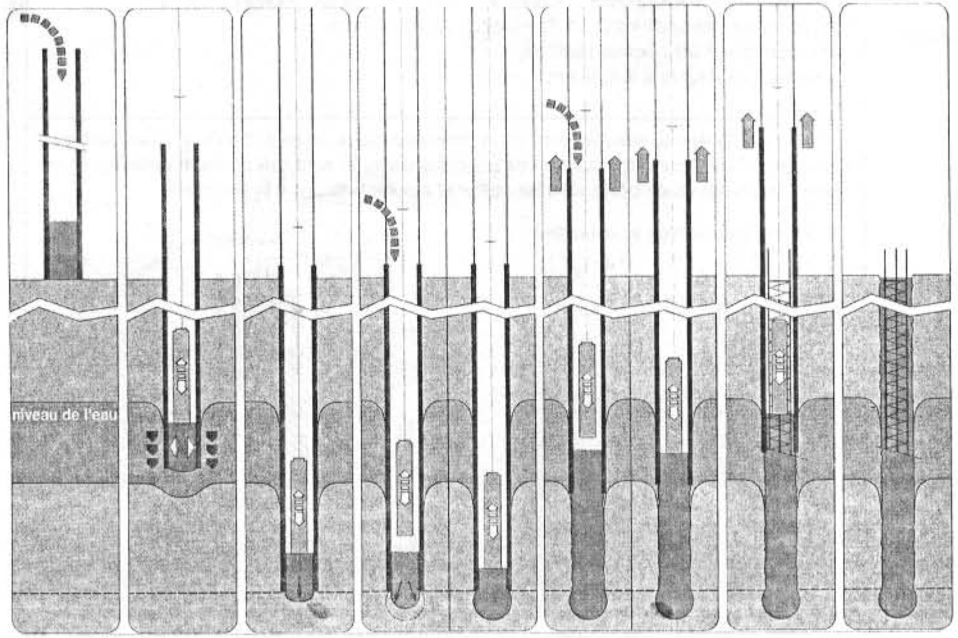
• Pieu battu moulé vibré

Le procédé Franki consiste à foncer sur les premiers mètres un tube obstrué à sa base par un bouchon de béton sec, puis à pilonner ce bouchon (à l'aide d'un mouton de 2 à 4 tonnes) qui entraînera le tube par frottement : le sol est alors comprimé. La base élargie du pieu assure un ancrage dans le sol.



DOC. FONDACO

• Pieu battu pilonné



DOC. FONDACO

PIEUX (suite)

PIEUX EN BÉTON COULÉS EN PLACE

Les principaux outils de forage sont :

- les grosses tarières munies de kellies télescopiques (rapides et grandes profondeurs),
- la tarière creuse continue à l'intérieur de laquelle on injecte le béton au fur et à mesure de sa remontée ;
- les trépans divers dont les outils de coupe sont adaptés au terrain ;
- l'hydrofraise bien adaptée aux terrains durs. Elle limite la surchauffe de l'outil ;
- les grosses bennes sur câbles (ex. : 1,5 m x 3 m et présence de blocs) ;
- le hammergrab : il tombe en chute libre, ses coquilles se referment en pénétrant dans le sol, puis les déblais sont remontés.

Les armatures des pieux peuvent être constituées d' :

- aciers seulement en tête de pieu en compression simple pour assurer la reprise ;
- aciers longitudinaux avec spires pour pieux sollicités en compression et flexion, ou en traction. Des tubes d'auscultation sont associés aux cages d'armatures ;
- aciers de frettage pour têtes de pieux recevant des ossatures métalliques.

• Mise en œuvre

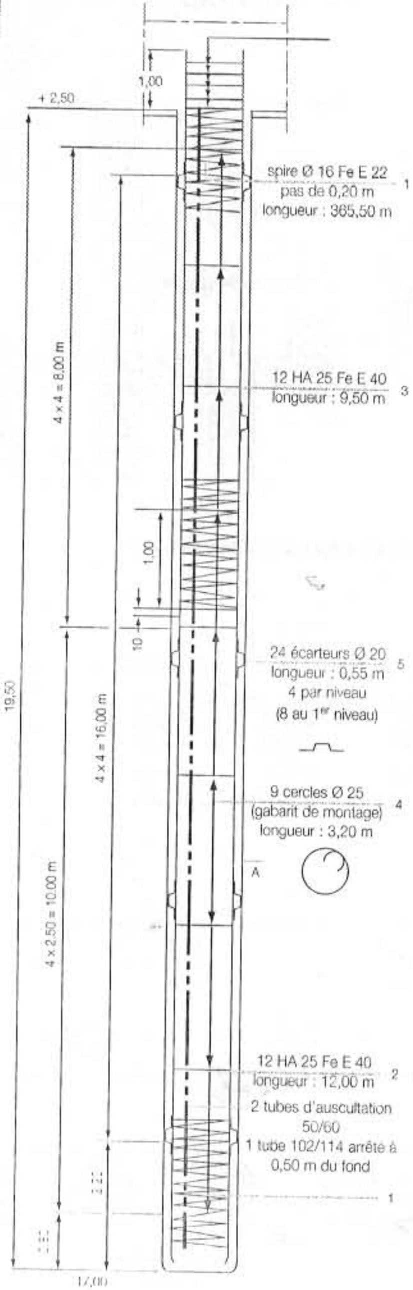
Le bétonnage se fait au moyen d'un tube plongeur pour éviter toute ségrégation, et avec une garde suffisante pour éviter le délavage du béton et sa continuité. La vibration du béton doit être soignée.

SOURCE : LCPC

PIEUX
(suite)

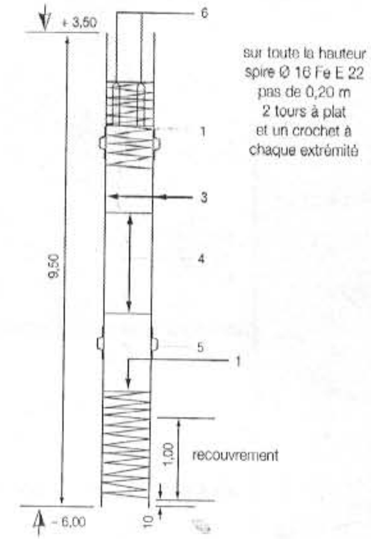
- **Cage d'armatures d'un pieu de Ø 1,20 m**

Coupe du pieu terminé

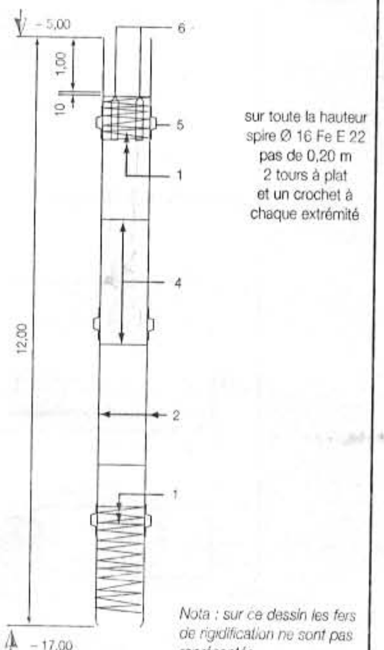


Éléments constitutif de la cage

ÉLÉMENT SUPÉRIEUR



ÉLÉMENT INFÉRIEUR



Nota : sur ce dessin les fers de rigidification ne sont pas représentés

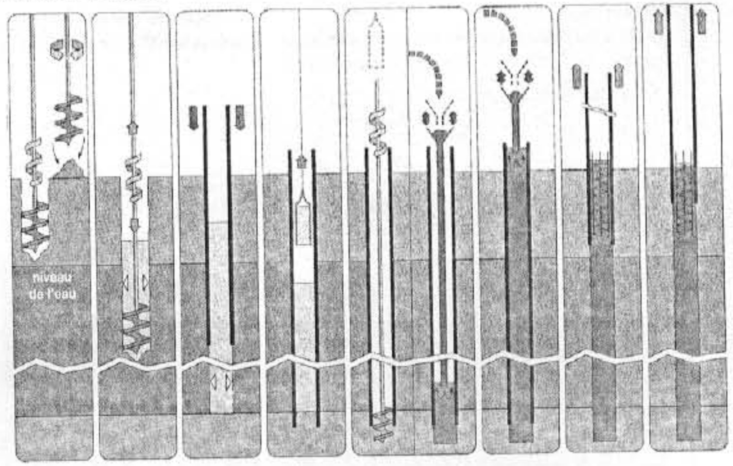
DOC. DIRECTION DES ROUTES

PIEUX
(suite)

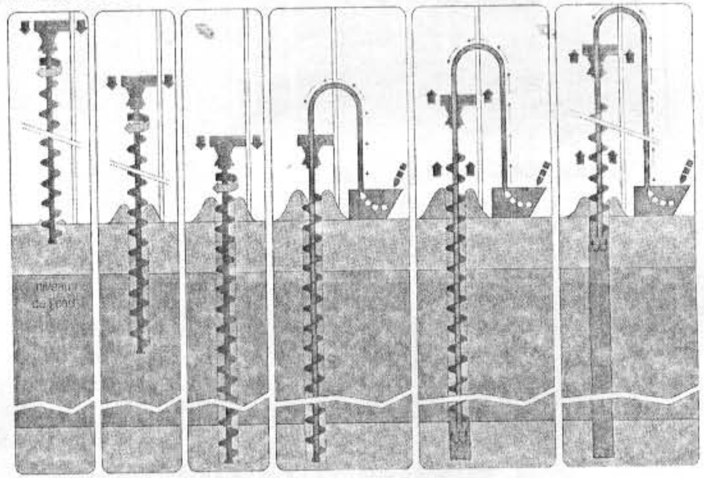
FORAGE SANS TUBAGE AVEC HAMMERGRAB, TRÉPANS, TARIÈRE ROTATIVE

Utilisé dans les terrains cohérents sans eau. La tenue du terrain est due à la cohésion du sol. Les bétons utilisés dans ce cas sont relativement secs.

- **Pieu foré à la tarière**



- **Pieu exécuté à la tarière continue**



FORAGE SANS TUBAGE MAIS AVEC MAINTIEN DES TERRES À LA BOUE BENTONITIQUE

Le terrain est maintenu par la pression hydraulique — croissante avec la profondeur — qu'exerce la boue bentonitique ; cette boue est adaptée en densité au type de terrain rencontré ; son rôle sera en outre de refroidir les outils de perforation, et de remonter les déblais. Elle sera enfin recyclée avant de repartir dans le circuit. Un tubage provisoire pourra être disposé en partie supérieure du forage.

La boue pourra parcourir le forage en circulation directe (descente dans le canal d'injection et remontée dans l'espace annulaire avec les déblais) ou en circulation inverse (descente dans l'espace annulaire et remontée par le canal des tiges actionnant l'outil).

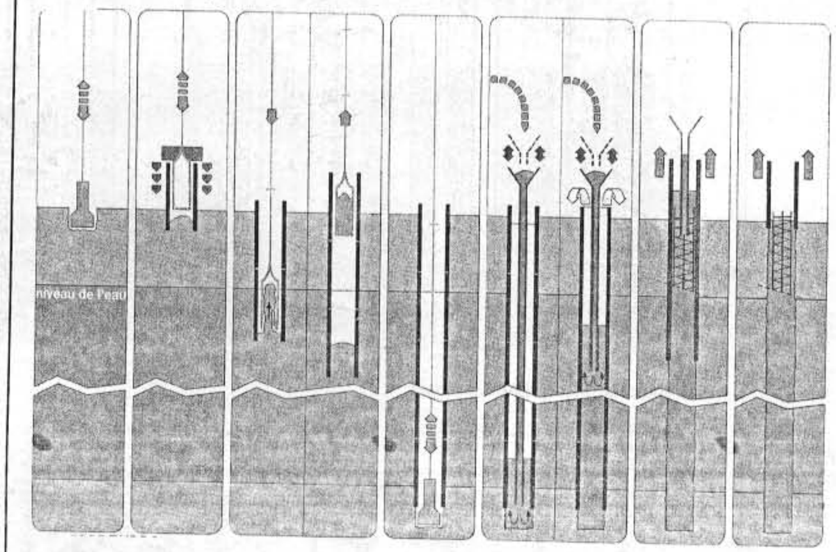
DOC. FONDACO

PIEUX
(suite)

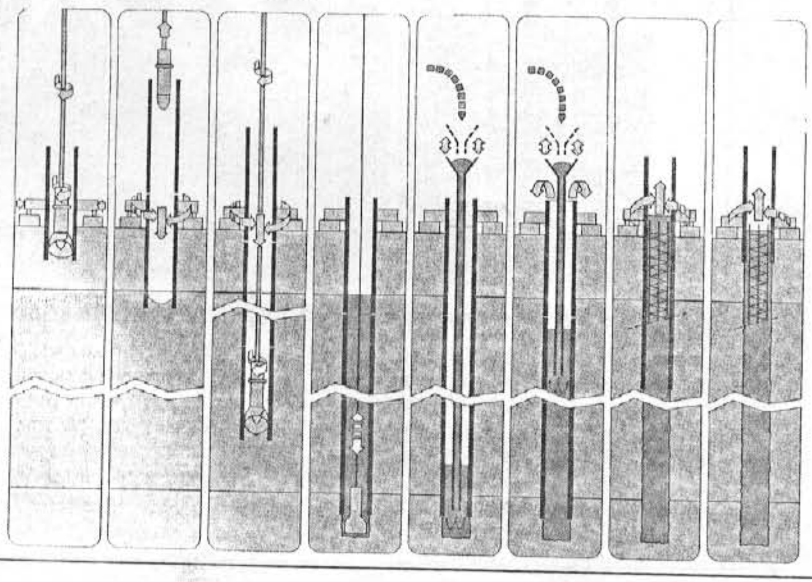
■ FORAGE AVEC TUBAGE MÉTALLIQUE PROVISOIRE VIBROFONCÉ

Utilisé dans les terrains cohérents ou pulvérulents avec présence d'eau. Le blindage provisoire du terrain est réalisé par le tubage métallique.
En outre ce tubage permet une mise en œuvre soignée du béton (pas de risque de discontinuité du pieu ou de diminution de section, pas de risque de ségrégation, meilleure vibration du béton, etc.).
Le pieu ne nécessite pas de recépage car l'arase se fait à un niveau précis.

• **Pieu foré tube de petit diamètre**



• **Pieu foré tube de grand diamètre**

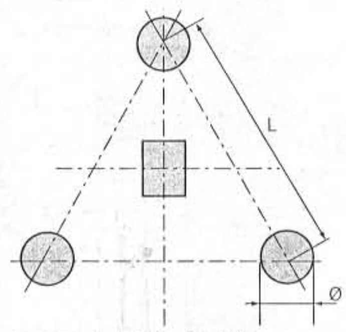


DOC. FONDACO

PIEUX
(suite)

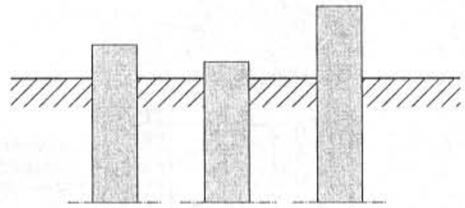
■ RÉALISATION DES SEMELLES DE LIAISON DE TÊTE DE PIEUX

1 - Après implantation

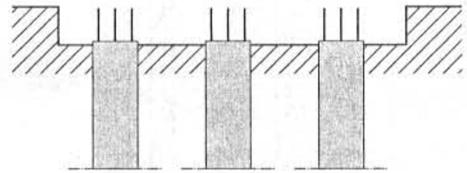


conditions de stabilité : 3L ≥ 3π Ø

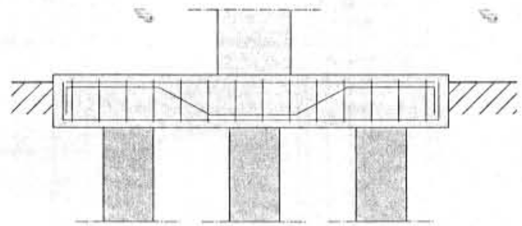
2 - Après battage



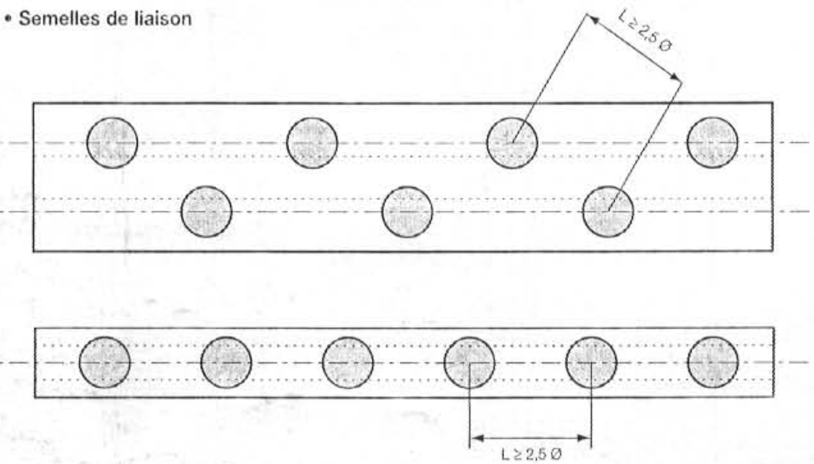
3 - Après recépage



4 - Après réalisation de la semelle de liaison des têtes de pieux



• **Semelles de liaison**



MICRO-PIEUX

■ CARACTÉRISTIQUES

- Il s'agit de profilés, tubes, barres ou paquets de barres mis en place dans un forage de faible diamètre (100 à 200 mm), et protégés par un micro-béton ou un coulis injecté. On peut réaliser des micro-pieux inclinés.
- Du fait de la maniabilité et de la légèreté de son matériel de mise en œuvre, cette technique est particulièrement adaptée aux chantiers exigus, où l'exploitation doit rester ininterrompue, en reprise en sous-œuvre, en blindage, etc.
- Ce procédé économique reste cependant limité à des exigences de capacités portantes faibles à moyennes.

Définition de l'armature		Caractéristiques géométriques				Capacité nominale (1)	
Type d'armature	Dimensions mm	Limite élastique σ MPA	Diamètre minimum du forage mm	Section d'acier S cm²	Inertie de l'acier cm⁴	2/3 σ S kN	1/2 σ S kN
Profilé	IPE 100 × 55 × 4	240	150	10	171/16	160	120
Tubes	Ø 46/60	390 530	100	12	43	310 420	230 310
	Ø 70/89	390 530	120	23	189	600 820	450 620
	Ø 97/114	390 530	150	28	394	730 1 000	550 750
	Ø 109/127	390 530	170	34	584	880 1 200	660 900
	Ø 157/176	390 530	200	50	1 728	1 300 1 760	980 1 320
Barres et faisceau de barres	Ø 20 T Ø 32 T Ø 40 T Ø 26 DY Ø 33 DY Ø 36 DY	400 400 400 800 800 800	60 à 250 mm suivant le nombre de barres du faisceau	3 8 13 5 8 10	suivant le nombre de barres et le diamètre du faisceau	80 210 340 280 450 530	60 160 260 210 330 400
	6 Ø 32 T 4 Ø 36 DY	400 800	150 150	48 40	129 129	1 290 2 120	970 1 600

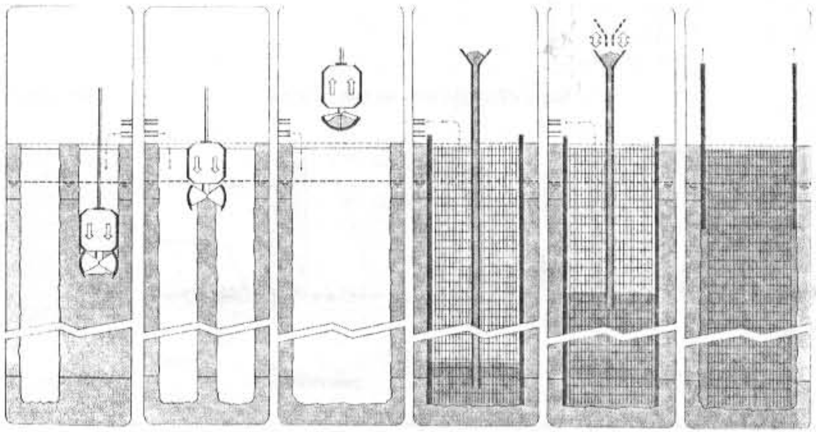
(1) Cette capacité est déduite de l'application du DTU 13.2 Fondations profondes.

DOC. SOLÉTANCHE

PAROIS

Voir paragraphe 2-4 :
- parois moulées
- parois préfabriquées ...

• Construction d'une paroi moulée



DOC. FONDACO

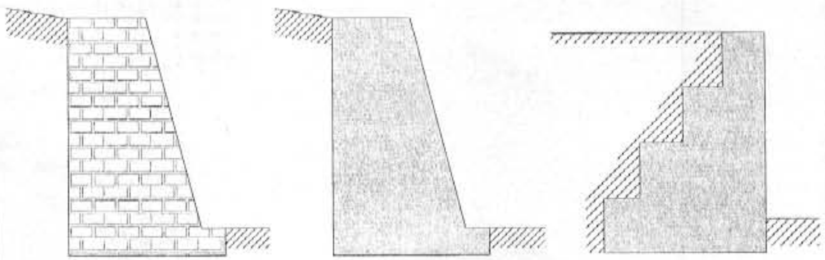
2.3 OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT RIGIDES

MUR POIDS

La stabilité est obtenue grâce au poids de l'ouvrage.

■ MURS EN BÉTON OU EN MAÇONNERIE

Mur poids en maçonnerie — **Mur en gros béton** — **Mur à redans**

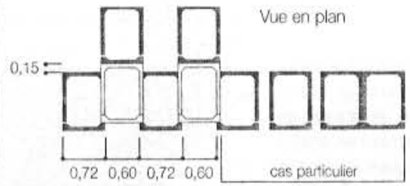


■ MURS « CAISSON » REMPLIS DE MATÉRIAUX

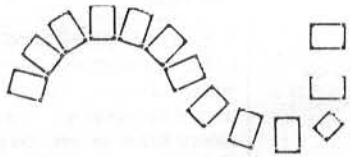
• Montage simple



• Assemblage

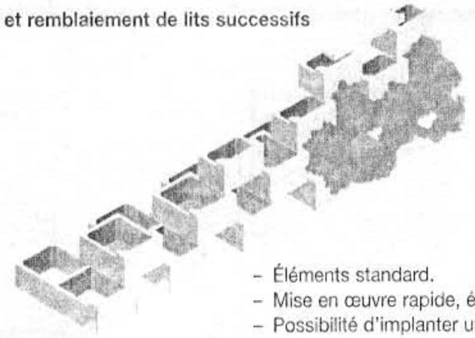


• Écartement variable



Tous les jeux de formes sont possibles

• Empilage et remblaiement de lits successifs



- Éléments standard.
- Mise en œuvre rapide, économique et simple.
- Possibilité d'implanter une végétation.

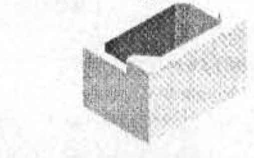
DOC. STRADAL

MUR POIDS
(suite)

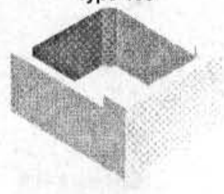
• Caissons

Type	Largeur	Hauteur	Profondeur	Poids kg
50	72	40	50	130
100	72	40	100	195
150	72	40	150	325

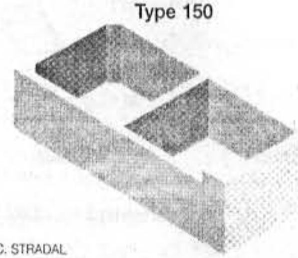
Type 50



Type 100



Type 150



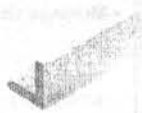
• Éléments complémentaires – options

Type	Largeur	Hauteur	Profondeur	Poids kg
Barette de crête	129	10	20	45
Bordure, équerre	58	20	20	25
Flasque d'about vertical	72 72 72	40 40 40	50 100 100	35 59 88

Barette de crête



Bordure – Équerre



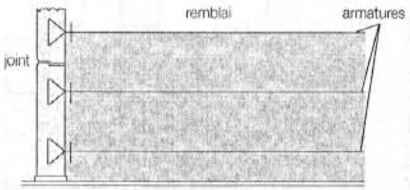
Flasque d'about vertical

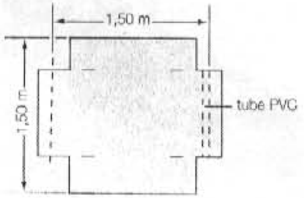


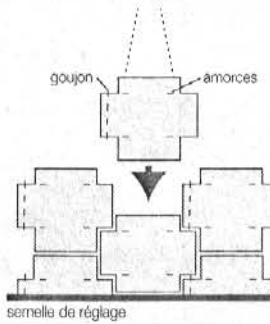
DOC. STRADAL

■ MURS EN TERRE ARMÉE

La stabilité est obtenue en rendant le sol cohérent par la mise en place d'armatures (le frottement sol/armature est à l'origine de la mise en tension des armatures). Un parement en écaille de béton ou en profilés métalliques, accroché aux armatures, assure l'esthétique du massif et sa protection contre l'érosion.





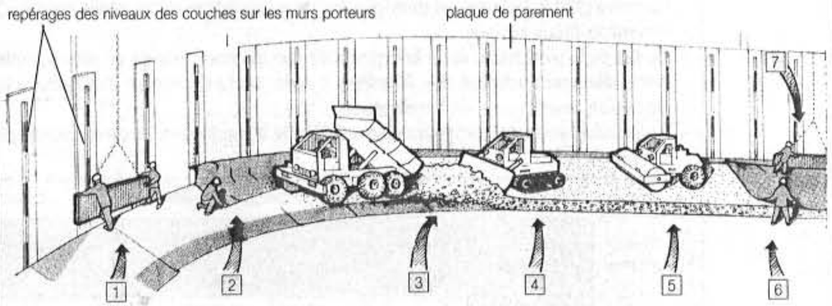


DOC. TERRE ARMÉE

MUR POIDS
(suite)

■ MASSIF RENFORCÉ À BASE GÉOTEXTILE (EBAL)

• Construction du massif renforcé

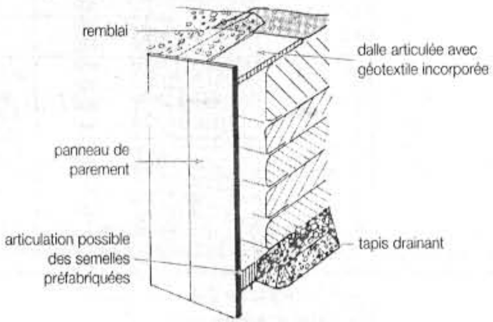


1. positionnement et gonflage des coffrages à vérins pneumatiques
2. mise en place du géotextile (partie inférieure)
3. apport du remblai
4. réglage du remblai
5. compactage
6. déroulement du géotextile (partie supérieure)
7. remontée des coffrages pneumatiques après dégonflage

• Armatures textiles

La stabilité est obtenue en rendant le sol cohérent par la mise en place d'armatures dans le sol (le frottement entre le sol et l'armature textile est à l'origine de la mise en tension des armatures). Un parement en béton accroché aux armatures textiles assure l'esthétique du massif et sa protection contre l'érosion.

• Coupe type



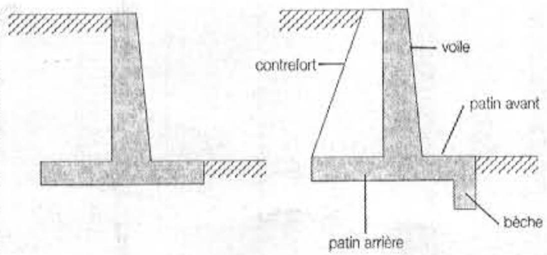
DOC. EBAL

MURS
EN BÉTON
ARMÉ

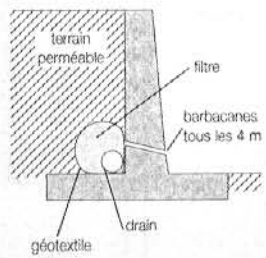
■ TYPES DE MURS

Il existe des murs :
- à console,
- à bèche,
- à contrefort.

Murs « Cantilever » en béton armé



Principe de drainage



MURS EN BÉTON ARMÉ (suite)

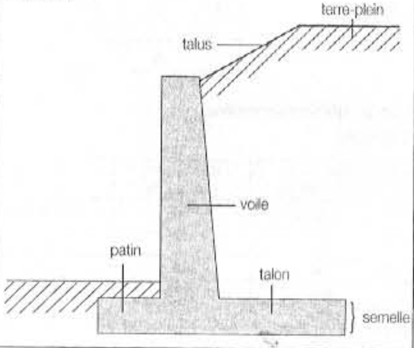
■ MURS EN T (MUR CANTILEVER)

• Stabilité

La stabilité est obtenue par l'encastrement du mur dans le sol.

La forme courante adoptée pour ces murs est le « T renversé » qui permet de transmettre les efforts de poussée au sol par l'intermédiaire d'une semelle correctement dimensionnée.

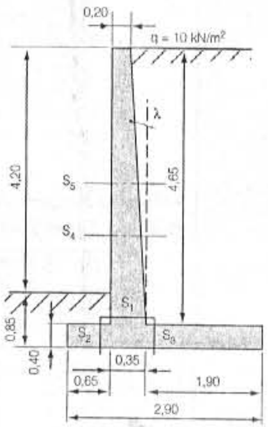
Cette solution est applicable, même pour des sols de caractéristiques mécaniques courantes, aux murs n'excédant pas 5 à 6 m de hauteur.



• Mur de soutènement

Exemple de mur de soutènement d'un terre-plein de 4,20 m de hauteur pouvant supporter une charge d'exploitation de 0,01 MPa.

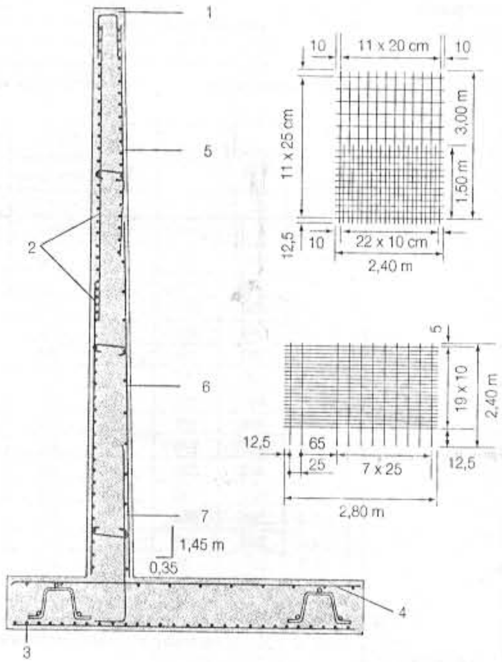
Sol pouvant supporter une contrainte admissible de 0,2 MPa.



• Ferraillage

Le ferraillage principal de ce type d'ouvrage résulte du calcul dans les sections critiques du voile (au tiers et à mi-hauteur) et dans les sections d'encastrement voile et semelle.

Le ferraillage secondaire tient compte des dispositions constructives et des actions (gradient thermique, vent ou tassements différentiels).



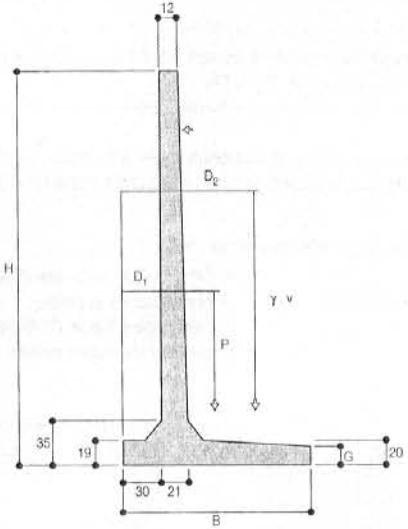
1. panneau (1/3 PS1)
2. panneaux (PS 106)
3. panneau (1/2 PS 106)
4. panneau TSHA sur devis
   Ø 16 E = 10 cm
   Ø 16 e = 25 cm
5. panneau (1/3 PS 106)
6. panneau TSHA sur devis
   Ø 16 E = 20 et 10 cm
   Ø 16 e = 25 cm
7. élément barre HA Ø 20 e = 10 cm

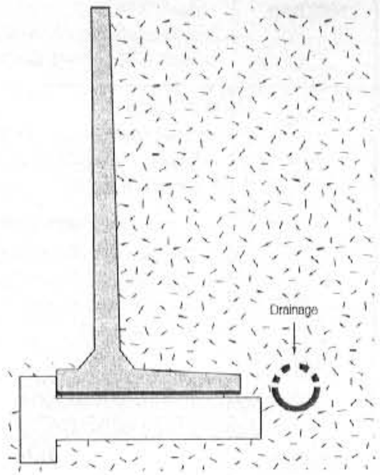
Armatures principales :
barres HA et treillis soudés TSHA.
Armatures secondaires :
treillis soudés PS 106.

DOC. CIMBÉTON

MURS EN BÉTON ARMÉ (suite)

■ MURS EN L





- Longueur 1,25 m
- Finition : béton balayé

V : Volume remblai sur semelle
γg : Densité du remblai
D_1 : Bras de levier du mur voile
D_2 : Bras de levier du remblai

Dimensions (cm)					Moment résistant (1) garanti (mL)		Paramètres de calcul pour L = 1 mL			
H	classe	B	G	Poids kg élément	classe A	classe B	P(kg/m)	D_1 (m)	V (m^3)	D_2 (m)
250	A	145	14	1960	4 000 daN. m	3 300 daN. m	1568	0,52	2,80	0,97
	B	125	16	1920			1536	0,48	2,21	0,87
300	A	175	12	2310	6 400 daN. m	4 300 daN. m	1848	0,57	4,50	1,12
	B	145	14	2190			1752	0,51	3,41	0,97
350	A	200	10	2500	10 700 daN. m	6 300 daN. m	2000	0,61	6,36	1,24
	B	165	13	2400			1920	0,54	4,89	1,06
370	A	200	10	2620	12 500 daN. m	7 300 daN. m	2096	0,60	6,75	1,24
	B	175	12	2460			1968	0,55	5,64	1,11

Précautions de mise en œuvre :

1. s'assurer d'une portance suffisante du sol
2. prévoir un drainage qui reste efficace
3. éviter en cours de chantier les surcharges non prévues
4. effectuer le terrassement en escalier pour éviter l'effet de coin au remblaiement.

(1) À l'encastrement du voile : Moment en service = $\frac{\text{Moment résistant}}{\text{Coef. de sécurité}}$

DOC. STRADAL

2.4 PAROIS

FONCTIONS

- Soutènement
- Portance
- Étanchéité.

Les caractéristiques, avantages et inconvénients de ces parois sont détaillées dans le chapitre 1, section « Traitement des venues d'eau » pp. 10 et 11.

PAROIS MOULÉES

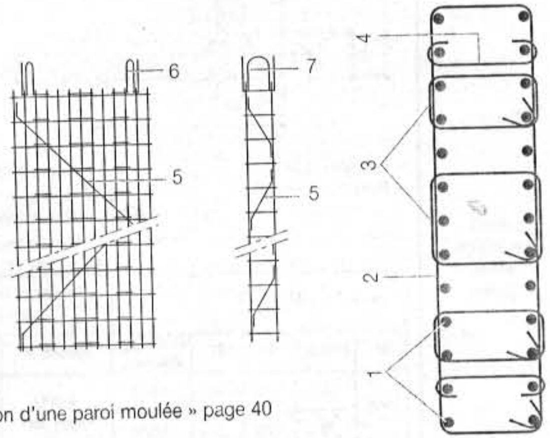
■ PRINCIPE

La paroi moulée est un mur réalisé dans une tranchée forée à la boue, dont la fonction est de maintenir les parois de l'excavation. On se sert des parois de cette tranchée comme coffrage pour bétonner la paroi.

Les principaux problèmes posés par cette technique sont :

- l'implantation de la paroi,
- le forage de la tranchée et sa stabilité en cours d'exécution,
- le bétonnage,
- l'étanchéité entre les différents panneaux constituants la paroi,
- l'ancrage à l'aide de tirants lorsque la hauteur de soutènement est importante.

1. barres verticales
2. cadre caisson
3. cadres intérieurs
4. épingles
5. raidisseurs
6. anse de positionnement
7. anse de levage



Voir également « Construction d'une paroi moulée » page 40

DOC. SOLÉTANCHE

RIDEAUX DE PALPLANCHES

■ DÉFINITION

Les rideaux de palplanches sont réalisés à partir de profilés métalliques solidarisés entre eux et enfoncés dans le sol.

■ TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE

Les facteurs qui conditionnent le choix d'une technique de fonçage de palplanches sont essentiellement la nature et les caractéristiques du sol, les caractéristiques des palplanches, les problèmes de nuisance, etc.

• **Battage** : L'élément est enfoncé à l'aide d'une masse agissant en percussion sur la tête de la palplanche (moutons à double effet, marteaux trépideurs ou moutons Diesel). Le battage convient dans presque tous les terrains sauf les roches dures.

• **Vibrofonçage** : On fait chuter le frottement latéral sol moins palplanches par communication d'une vibration énergique. Le vibrofonçage convient bien dans les sols pulvérulents.

• **Lançage** : On injecte de l'eau sous pression par lançage au pied de la palplanche pour décompacter et ameublir le sol (impossible à réaliser dans l'argile).

RIDEAUX DE PALPLANCHES (suite)

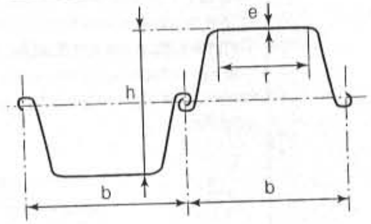
■ AVANTAGES

- Système résistant.
- Rapide et simple à réaliser, peu de matériel requis.
- Peu coûteux.

■ INCONVÉNIENTS

- Nécessité de traiter les palplanches contre la corrosion et les nuisances.
- Inesthétique.
- Nécessité parfois de réaliser un couronnement (sécurité).

■ PALPLANCHES LARSSEN



• **Caractéristiques mécaniques et dimensionnelles**

Nuances d'acier (Norme NF A 35-520)

Désignation	Limite élastique minimale garantie	Résistance minimale (1)	Allongement minimal (2)	Pliage à 180°	
	N/mm²	N/mm²	%	e ≤ 16 mm	e > 16 mm
E 240 SP	240	390	28	1 e	1,5 e
E 270 SP	270	440	25	1 e	1,5 e
E 320 SP	320	490	23	1,5 e	2 e
E 360 SP	360	510	22	2 e	3 e
E 390 SP	390	550	20	2 e	3 e
E 430 SP	430	570	17	3 e	4 e
E 500 SP	500	Sur consultation : nuance ne figurant pas dans la norme.			

(1) Sous réserve que les valeurs de limite d'élasticité et d'allongement soient respectées, il est admis une tolérance de 20 N/mm² sur les limites inférieures ou supérieures de la fourchette de la résistance.
(2) Allongement mesuré sur une longueur initiale entre repères égales à 5,65 √So.

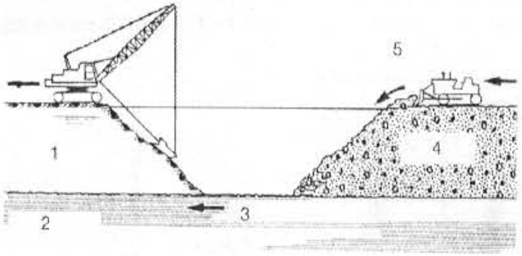
Profil	Largeur utile	Hauteur	Épaisseur	Largeur disponible entre ailes	Périmètre développé	Section	Masse		Module de résistance	Moment d'inertie	Rayon de giration
							Palplan.	Rideau			
	b	h	e	r	(1)						
	mm	mm	mm	mm	cm/ml	cm²/m	kg/m	kg/m²	cm³/ml	cm⁴/ml	cm
PU 6	600	226	7,5	330	234	96	45,3	75	600	6 720	8,37
PU 8	600	280	8,0	317	245	116	54,5	91	830	11 610	10,00
PU 12	600	360	9,8	257	258	140	65,9	110	1 200	21 550	12,41
PU 16	600	380	12,0	303	269	159	74,7	124	1 600	30 520	13,87
PU 20	600	400	12,4	365	287	180	84,7	141	2 000	39 970	14,90
PU 25	600	452	14,2	339	296	200	94,1	157	2 500	56 500	16,81
PU 32	600	452	19,5	341	296	243	114,6	191	3 200	72 260	17,24
L 31	450	150	9,5	250	230	127	45,0	100	460	3 450	5,21
L 2 N	400	270	9,5	250	293	156	48,8	122	1 100	14 900	9,75
L 3 N	400	290	13,0	250	307	198	62,0	155	1 600	23 200	10,85
L 2 S	500	340	12,3	280	282	177	69,6	139	1 600	27 500	12,44
L 3 S	500	380	14,1	270	294	201	79,0	158	2 000	38 000	13,73
L 4 S	500	440	15,5	240	311	224	88,0	176	2 500	54 800	15,70
L 5 S	500	45	20,6	230	317	270	106,0	212	3 200	72 000	16,33
L 6	420	438	23,5	230	361	369	122,0	290	4 200	92 000	15,80

(1) Périmètre en contact avec le milieu extérieur, c'est-à-dire périmètre des joints exclu.
Profils série PU : en cours de normalisation. Profils série L : suivant norme NF A 45-020.

DOC. UNIMÉTAL

PAROIS D'ÉTANCHÉITÉ

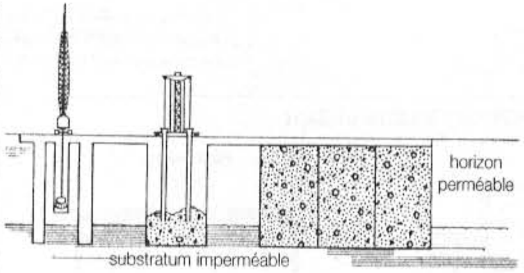
■ PAROI À LA BENTONITE



(Forte épaisseur : 1,5 à 3 mm)
Il s'agit d'une coupure étanche constituée d'agrégats déversés dans de la bentonite.

1. terrain vierge perméable
2. substratum
3. sens d'avancement
4. tTranchée terminée
5. déversement des agrégats

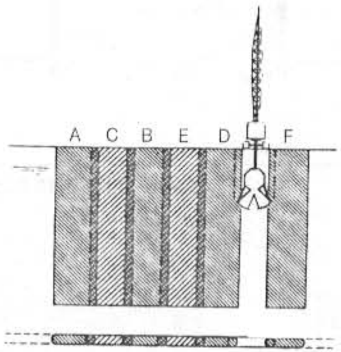
■ PAROI EN BÉTON PLASTIQUE



Il s'agit d'une paroi moulée, perforée avec des outillages classiques, sous boue bentonitique, bétonnée à la colonne plongeuse avec un béton plastique. Généralement, l'épaisseur est de 0,6 m ; on opère par panneaux alternés, et on fait les joints au tube-joint.
On peut atteindre de grandes profondeurs (50 m et plus).

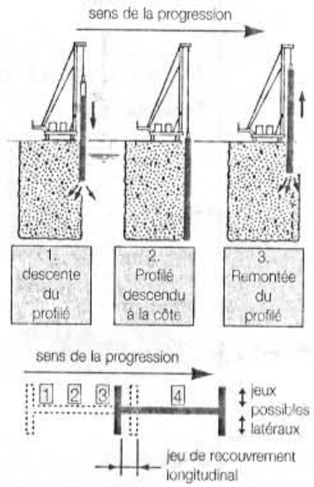
■ PAROI AU COULIS

Il s'agit d'une paroi moulée d'épaisseur 0,60 m avec usage d'une boue-ciment spéciale ou d'un coulis autodurcissable.



■ PAROI MINCE

Son nom tient à son épaisseur : de quelques centimètres à 10 cm. Elle est réalisée par fonçage dans le terrain d'un profilé métallique, extraction de ce profilé avec injection simultanée de coulis d'étanchéité. La profondeur est limitée à 25 m avec les plus puissants outillages.

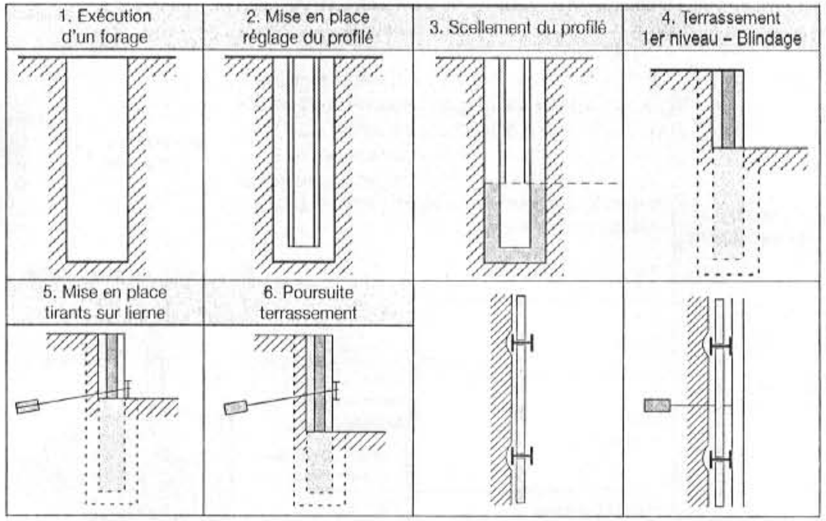


DOC. SOLÉTANCHE

PAROIS BERLINOISES

Des profilés métalliques espacés de 2,50 m environ sont enfoncés dans le sol. Au fur et à mesure de l'excavation, on dispose entre les profilés des planches des panneaux ou des parois minces de béton.

Schéma d'exécution

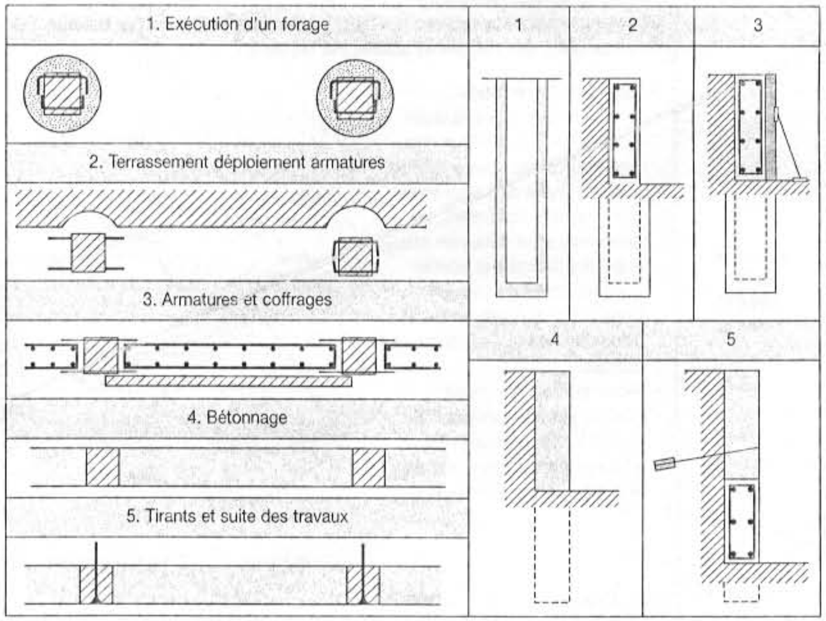


DOC.SOLÉTANCHE

PAROIS PARISIENNES

Même mise en œuvre que pour les parois berlinoises, à l'exception des profilés remplacés ici par un poteau en béton. On peut incorporer cette paroi à la structure.

Schéma d'exécution

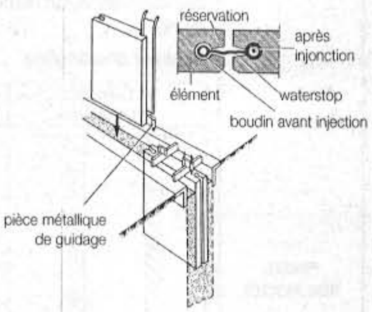


DOC.SOLÉTANCHE

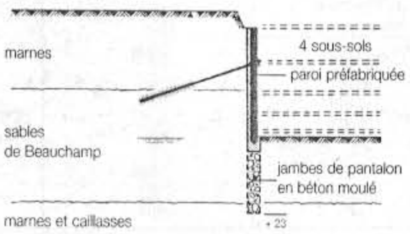
PAROIS PRÉFABRIQUÉES

Elles se composent de panneaux identiques s'emboîtant les uns dans les autres par rainures et languettes permettant un guidage vertical lors de la descente des éléments. Les dimensions courantes varient selon l'épaisseur (30 à 80 cm), la hauteur (10 à 20 m), la largeur (1,50 à 2,50 m).
Les éléments sont maintenus entre eux par des joints caoutchouc du type « waterstop gonflable ». Ils sont insérés dans les réservations des panneaux, on y injecte un coulis de ciment qui les gonfle et assure ainsi un contact étroit entre le béton et le joint. L'étanchéité est ainsi assurée par la couche de coulis restante côté terre, le béton des panneaux et le joint.

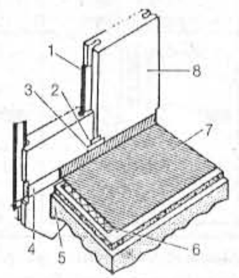
Joint



Jambe de pantalon



Étanchéité au point triple



1. waterstop gonflable néoprène
2. remplissage de liaison en bitume élastomère
3. pontage de waterstop de surface
4. waterstop de surface PVC
5. béton poreux
6. non tissé
7. paroi préfabriquée
8. étanchéité PVC

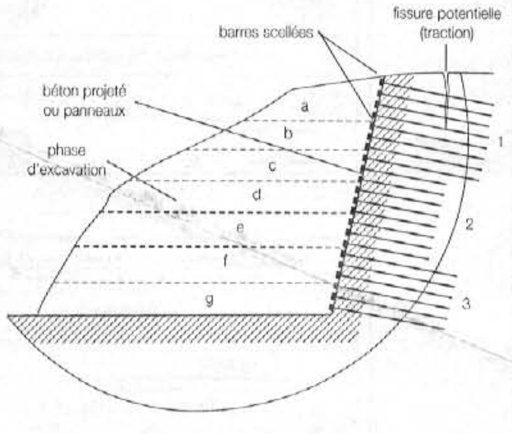
DOC.SOLÉTANCHE

PAROIS DE BÉTON PROJETÉ CLOUÉES

Le clouage est une technique de renforcement des sols par des éléments linéaires travaillant à la traction et/ou au cisaillement.
Ces éléments sont constitués par des barres mises en œuvre par battage, vibrofonçage ou mises en place dans des forages et scellés par un coulis.

Principe de l'exécution

- Excavation : suivant la résistance du sol, la hauteur d'excavation est de l'ordre 1,50 m.
- Mise en place des armatures : dans les sols cohérents, les armatures sont mises en place dans des forages et scellés avec un coulis de ciment. Dans les sols pulvérulents, les armatures sont généralement battues.
- Protection du parement : celui-ci peut être obtenu soit par du béton projeté (10 à 15 cm d'épaisseur) soit à partir d'éléments préfabriqués.

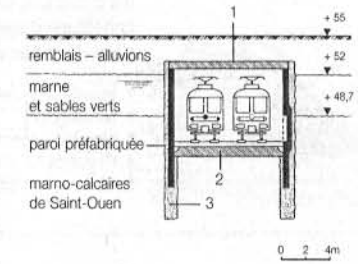


1. barres en traction 2. barres intermédiaires 3. barres en cisaillement

NB : Même principe avec tirant précontraint

APPLICATIONS

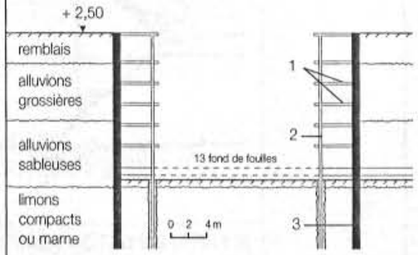
■ TRANCHÉE COUVERTE POUR VOIE FERRÉE



1. dalle supérieure
2. radier
3. coulis

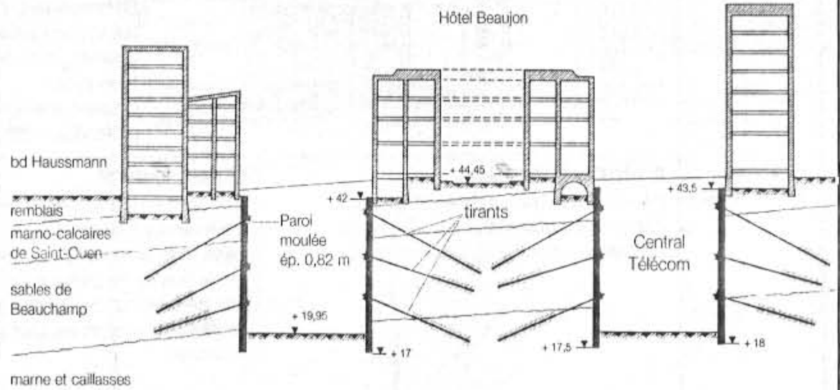
■ PAROI AVEC POTEAUX PRÉFONDÉS

Parc enterré (6 sous-sols)



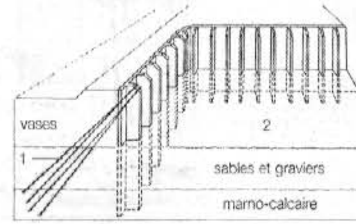
1. planchers travaillant en buton circulaire comprimé
2. poteaux préfondés profondeur 25 m
3. paroi moulée profondeur 29 m

■ FOUILLE CLASSIQUE EN SITE URBAIN



■ PAROI À CONTREFORTS

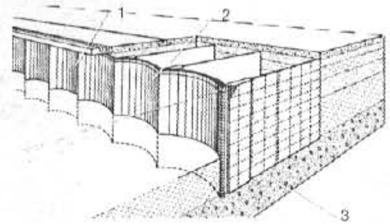
Enceinte



1. tirants
2. fond de fouille

■ PAROI À TIRANTS PLANS

Mur de quai



1. poutres de couronnement
2. voûtes en paroi moulée
3. tirant plan

DOC.SOLÉTANCHE

CARACTÉRISTIQUES DES TIRANTS STANDARDISÉS

• **L'armature de précontrainte est caractérisée par trois valeurs de tensions :**

PR : point extrême sur la courbe d'allongement pour lequel la linéarité de la courbe effort-déformation est vérifiée.

TMG : tension minimale garantie correspondant à un allongement rémanent de 0,1 %.

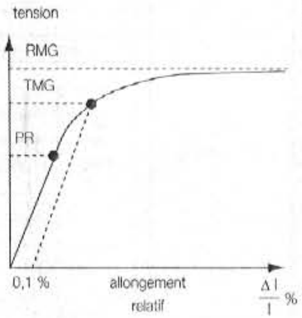
RMG : résistance minimale garantie correspondant à la tension de rupture garantie.

• **Au cours du projet, les tensions retenues à la conception sont :**

TE : tension d'essai

TR : tension résiduelle dans le tirant, après blocage des organes de précontrainte.

TA : tension nécessaire dans le tirant déterminée par les calculs de dimensionnement des ouvrages.



■ RÉSUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES DES ACIERS

Type	Barres						Torons							
	DY 26		DY 32		DY 36		6 T 13	8 T 13	10 T 13	12 T 13	6 T 15	8 T 15	10 T 15	12 T 15
Section acier mm²	551		804		1018		558	744	930	1116	834	1112	1390	1668
Allongement mm/m par 10 kN	0,086		0,059		0,047		0,087	0,065	0,052	0,044	0,058	0,044	0,035	0,029
Type d'acier MPa	850/1050	1100/1250	850/1050	1100/1250	850/1050	1100/1250	1600/1900				1570/1850			
PR kN	410	530	600	770	760	980	720	960	1200	1440	1080	1440	1800	2160
TMG kN	470	610	680	880	870	1120	900	1200	1500	1800	1320	1760	2180	2620
RMG kN	580	690	840	1000	1070	1270	1060	1410	1770	2120	1540	2050	2570	3080

■ RÈGLES USUELLES

• **Tirant provisoire**

TE ≤ 0,9 TMG
TR ≤ TE/1,2
TR ≤ 0,9 TMG – pertes
TA ≤ TR

• **Tirant permanent**

TE ≤ 0,9 TMG
TR ≤ TE/1,5
TR ≤ 0,9 TMG – pertes
TA ≤ TR

■ TENSIONS RÉSIDUELLES MAXIMALES EN kN (TR MAX.)

en fonction des longueurs libres après perte de tension

Ces valeurs sont données à titre d'exemple.

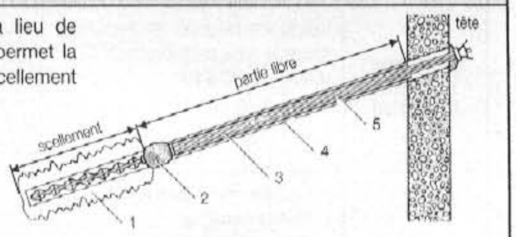
Type de tirant	DY 26	DY 26	DY 32	DY 32	DY 36	DY 36	6 T 13	8 T 13	10 T 13	12 T 13	6 T 15	8 T 15	10 T 15	12 T 15
Tension maxi d'essai kN	420	540	600	780	780	1000	810	1080	1350	1620	1170	1570	1960	2360
Longueurs libres m	Tirants provisoires													
5	350	450	510	650	650	830	670	860	1050	1220	970	1250	1550	1800
6	350	450	510	650	650	830	670	890	1050	1260	970	1300	1600	1850
7	350	450	510	650	650	830	670	890	1110	1300	970	1300	1600	1900
8	350	450	510	650	650	830	670	890	1110	1340	970	1300	1600	1950
9	350	450	510	650	650	830	670	890	1110	1340	970	1300	1600	1950
	Tirants provisoires													
5	280	370	410	530	520	670	540	720	900	1080	790	1050	1340	1370
6	280	370	410	530	520	670	540	720	900	1080	790	1050	1340	1370

DOC.SOLÉTANCHE

DESCRIPTION DU TIRANT « IRP ® » SOLÉTANCHE

Dans les terrains médiocres, il y a lieu de consolider. Un obturateur gonflable permet la montée en pression de l'injection de scellement d'ancrage, donc la consolidation.

1. bulbe d'ancrage
2. obturateur gonflable
3. tube d'injection
4. gaine de protection
5. armatures

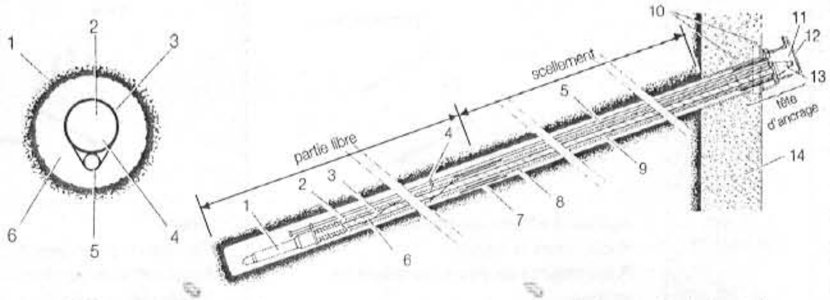


DOC.SOLÉTANCHE

TIRANTS À HAUTE PROTECTION CONTRE LA CORROSION

■ TIRANT PRÉPROTÉGÉ

Le tirant est à l'intérieur d'une gaine plastique crénelée. Le remplissage de l'espace annulaire armature gaine est fait en atelier d'où la tenue de « préprotection » avec du ciment ou du brai époxy. L'injection de scellement au terrain est faite grâce à un tube à manchette.

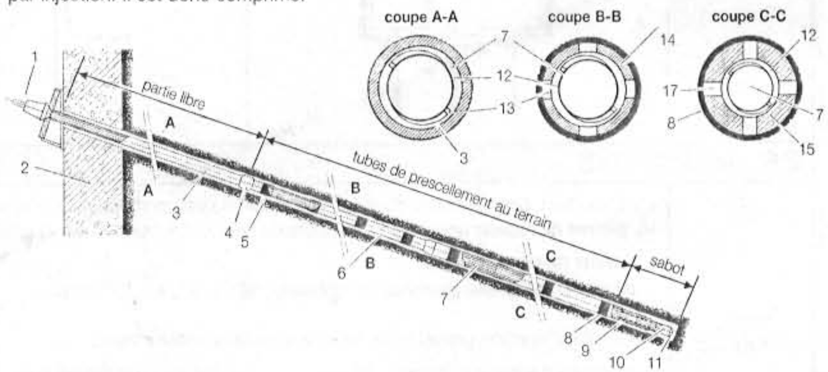


1. paroi de forage
2. coulis de préscellement
3. gaine de protection
4. armature
5. tube à manchettes
6. coulis de scellement

1. ogive
2. préscellement au ciment
3. barre
4. écarteur de tube à manchettes
5. tube à manchettes
6. gaine de protection
7. raccordement
8. gaine de protection de la partie libre
9. pré-protection au brai-époxy
10. réservations
11. remplissage au brai-époxy
12. protection extérieure
13. écrou
14. paroi moulée

■ TIRANT À SCELLEMENT COMPRIMÉ

L'armature tendue transmet son effort au tube métallique qui l'abrite. Ce tube est scellé au terrain par injection. Il est donc comprimé.



1. dépassement
2. paroi moulée
3. gaine de la partie libre
4. raccordement étanche
5. manchette d'injection
6. tube acier scellé au terrain
7. armature
8. manchette d'injection
9. fixation de l'armature
10. puisard acier
11. bouchon obturateur
12. protection de l'armature
13. orifice d'injection
14. tube prolongateur prescellé au terrain
15. tube de prescellement au terrain

DOC.SOLÉTANCHE

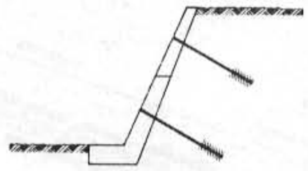
PROTECTION CONTRE LA CORROSION

Les recommandations Securitas fixent le type de protection à retenir de P0 à P2.

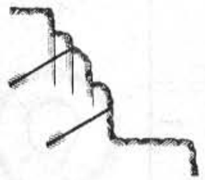
Nature de l'ambiance \ Durée d'utilisation	Tirant provisoire: Moins de 9 mois	Tirant provisoire: 9 à 18 mois	Tirant permanent: Plus de 18 mois
Non agressive	P0	P1	P2
Moyennement agessive	P1	P2	P2
Très agressive	P2	P2	P2

EMPLOIS DES TIRANTS

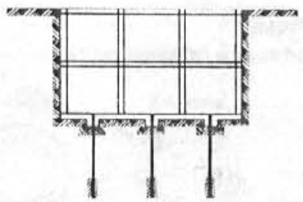
- **Soutènement des fouilles**
- Parois moulées.
- Rideaux de palplanches.
- Murs de soutènement.
- Voiles de reprise en sous-œuvre.
- Méthode berlinoise.
- Méthode parisienne.



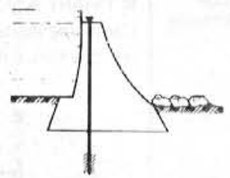
- **Épinglages – Clouages**
- Rocher fissuré, falaises, zones d'éboulis.
- Stabilisation, glissements de terrain.
- Consolidation de galeries.
- Massifs de conduites forcées.



- **Reprise d'efforts de traction**
- Radier sous la nappe.
- Précontrainte de pieux travaillent en traction.
- Ancrage de structures élancées (immeubles-tours, cheminées...).
- Reprise d'efforts de haubanage (ponts suspendus, pylônes...).



- **Divers**
- Reprise de poussées des voûtes.
- Postcontrainte de structures.
- Amélioration de la stabilité des barrages.



DOC.SOLÉTANCHE

2.6 INJECTIONS

COULIS D'INJECTION

L'introduction, dans les vides du sol, d'un produit liquide se rigidifiant par la suite et appelé coulis, permet de réaliser une « injection » dans ce terrain. Ce procédé est valable pour les :

- travaux de consolidation,
- travaux d'étanchéité (perméabilité obtenue : 10^{-7} m/s ≤ k ≤ 10^{-6} m/s).

Les coulis d'injection peuvent être répartis en trois grandes classes :

- les coulis d'argile-ciment ou de bentonite-ciment,
- les gels minéraux (à base de silicate en concentrations diverses),
- les résignes organiques (phénoplastes, aminoplastes, acrylamides).

COULIS D'INJECTION (suite)

- **Choix des coulis d'injection selon la perméabilité initiale du terrain k (en m/s)**

COULIS				10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	
ciment			C	■	■					
argile – ciment			E – C	■	■	■	■			
gel d'argile – bentonite défloculée rigidifiée			E				■			
actisol			E – C	■	■	■	■			
gel de silice	de consolidation	concentré	C				■	■		
		faible viscosité	C					■	■	
	d'étanchement	concentré	E				■	■		
		très dilué	E					■	■	
résines	silacsol		E – C				■	■	■	
	acrylamide		E						■	■
	phénolique		C						■	■
	silacsol (liqueur)		E – C						■	■

C : Consolidation – E : Étanchement

- **Caractéristiques et possibilités moyennes des principaux coulis d'injection**

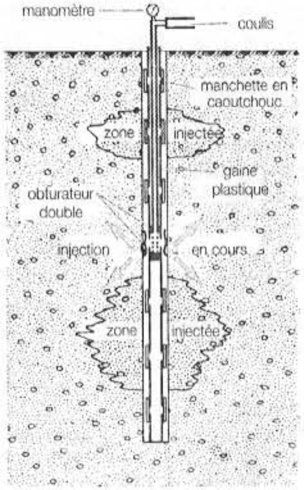
type de coulis			résistance à l'écrasement	prix relatif pour 1 m³	domaine d'utilisation	conduite de l'injection
suspensions	coulis instables	suspensions de ciment dans l'eau (+ sable) C/E 1/10 à 1/1 ou 1,5/1	comparables au béton	4,2	fissures du rocher ou des maçonnerie	quantités non limitées, mais obtention d'une pression « de refus »
	coulis stables	ciments et mortiers activités { Prépakt, Thermocol, Colcreete	comparables au béton		remplissage des gros vides	quantités limitées
	(décantation de quelques centièmes)	ciments – argile (+ sable)	0,1 à 5 MPa	1	Fissures larges + sable et graviers $k > 5{,}10^{-4}$ m/s	
		argile traitée	< 0,1 kPa	1,1		
		actisol	0,1 à 80 MPa	1		
liquides	coulis à base de produits chimiques	silacsol	0,1 à 30 MPa	1	10^{-4} à 10^{-7} m/s	quantités limitées
		gels durs { silicate de soude { + $CaCl_2$, + acétate d'éthyle	1-2 MPa (mortier 4 MPa)	10,7 11	$k > 10^{-4}$ m/s	
		gels durs { lignosulfite + bichromate	0,03 MPa (mortier 0,4 – 0,5 MPa)	6,5 à 8	$k > 5{,}10^{-5}$ m/s	
		gels plastiques { silicate de soude + réactif, bentonite défloculée	5 kPa 1 à 2 kPa	2 à 4 1,8	$k > 10^{-5}$ m/s $k > 10^{-4}$ m/s	
		résines organiques { AM 9	< 0,1 MPa	50 à 130	pour injections courantes	
		résines organiques { résorcine – formol, urée – formol (coulis acide)	1 à 10 MPa 2 à 10 MPa	10 à 40	$k > 10^{-6}$ m/s	
		résines organiques { Polymères précondensés (époxy)	comp. 100 MPa Tract. 30 MPa	150-500	collage fissures du béton	
		liants hydrocarbonés { Émulsions de bitume { + silicate, + résorcine	0,01 MPa (mortier 1 MPa)	6 12	$k > 10^{-5}$ m/s	
		liants hydrocarbonés { bitume chaud	liquides très visqueux		circulation d'eau importante	

DOC.SOLÉTANCHE

ÉQUIPEMENT DES FORAGES

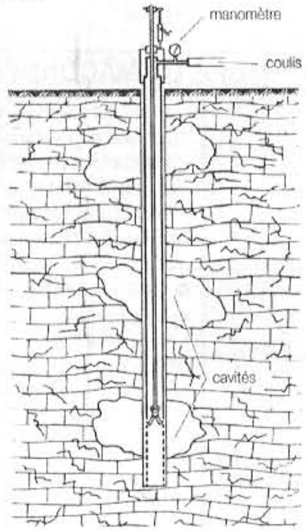
■ DANS LES TERRAINS ALLUVIONNAIRES

On utilise des tubes à manchettes (tube lisse intérieurement qui présente des perforations régulièrement espacées, recouvertes d'anneaux en caoutchouc jouant le rôle de clapet). On injecte au droit des perforations du tube à l'aide d'un obturateur double.



■ DANS LES CAVITÉS

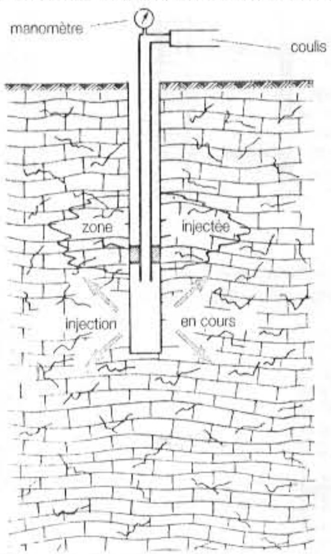
On injecte le coulis à l'aide d'un tube perdu crépiné, ou d'un tube broché en plastique dans lequel des fentes ont été réalisées par la remontée d'un train de tige équipé de couteaux.



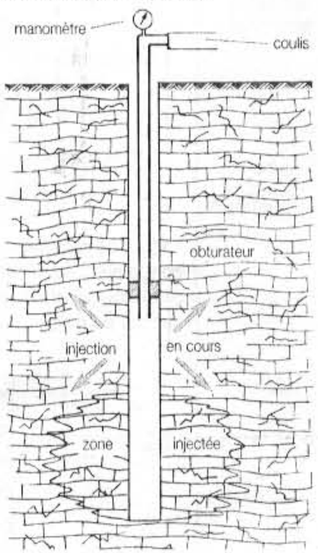
■ DANS LES TERRAINS ROCHEUX

L'injection se pratique à trou ouvert suivant 2 méthodes :

Injection à l'avancement
Dans les éboulis ou les roches très fissurées.



Injection en remontant
Dans les roches peu fissurées.



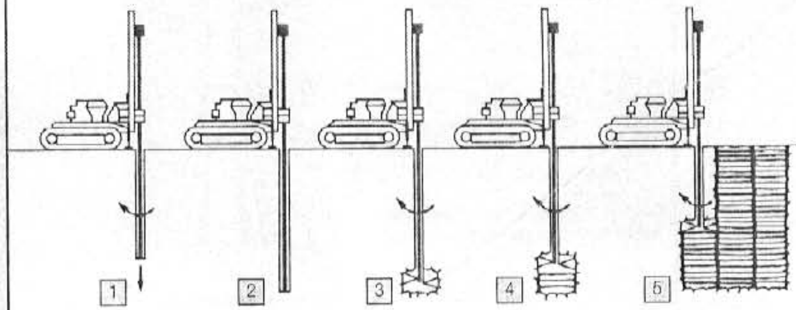
DOC.SOLÉTANCHE

INJECTION SOUS FORTE PRESSION À JET DIRIGÉ « JET GROUTING »

■ MÉTHODE MONOJET

On réalise des colonnes de 1 m de diamètre. Une buse d'injection projette du coulis à une pression d'environ 20 MPa.

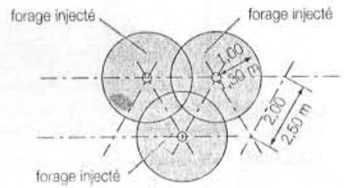
Phases d'exécution de la méthode monojet



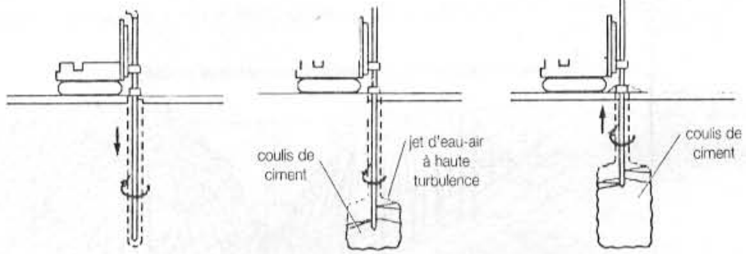
1. perforation en rotation
2. fin de perforation
3. début d'injection à très haute pression
4. rotation et remontée du train de tiges à vitesses préréglées
5. répétition du procédé sur des forages voisins

■ MÉTHODE DOUBLE JET

On réalise des colonnes ou des écrans par projection d'une mélange d'air, d'eau et de coulis. L'air est projeté à une pression de 0,7 MPa, l'eau de 10 MPa et le coulis de 5 MPa.



Exécution de colonnes verticales par double jet



DOC.SOLÉTANCHE

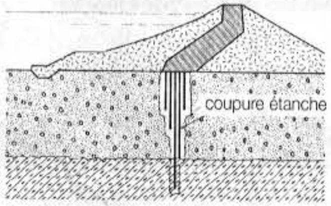
ÉCARTEMENT DES FORAGES

Ouvrage	Terrain	Disposition des forages
Voiles	Alluvions	2 lignes de forages parallèles Écartement entre forages : 1 à 3 m
	Rocher	1 à 2 lignes de forages parallèles Écartement entre forages : 2,5 à 6 m
Masse de terrain injecté	Alluvions Rocher	Maille des forages : 1 × 1 à 3 × 3 m Maille approximative : 3 × 3 m
Fonds étanches	Alluvions Rocher	Maille des forages : 1,5 × 1,5 à 7 × 7 m Maille approximative : 4 × 4 m

INJECTIONS

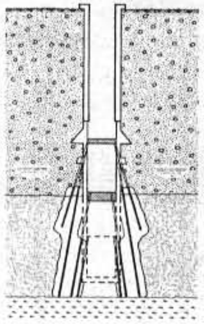
APPLICATION DES INJECTIONS

- **Alluvions (coupure étanche verticale)**



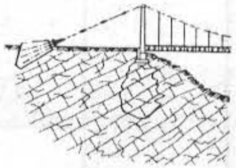
Coupure étanche verticale d'une vallée alluvionnaire sous un barrage en terre.

- **Sables fins boulants**

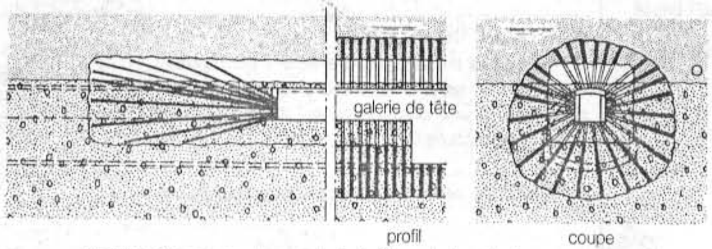


Consolidation pour le creusement d'un puits.

- **Roche fissurée (consolidation sous un pylône de pont)**

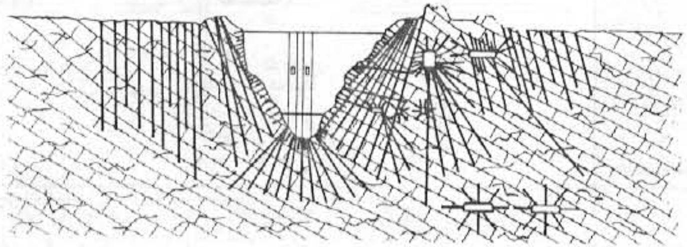


- **Alluvions (étanchement et consolidation)**

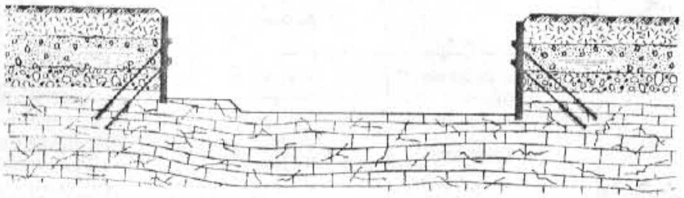


Injection à l'avancement pour galerie de tête, puis à partir de cette galerie.

- **Roche fissurée (voile d'étanchéité d'un barrage voûte)**



- **Roche fissurée (voile d'étanchéité horizontal - fond étanche)**



DOC.SOLÉTANCHE

3 PORTEURS VERTICAUX

Les éléments porteurs verticaux d'une construction peuvent être classés en deux catégories suivant leur constitution :

murs en maçonnerie,
murs en béton banché.

Ils peuvent également être classés en 2 familles suivant leur rôle dans l'ouvrage :

- murs de façade (séparation de l'espace habité du milieu extérieur),
- murs de refend (situés à l'intérieur de la construction).

3.1 MURS EN MAÇONNERIE (DTU 20.1)

Les fonctions assurées par les murs en maçonnerie concernent principalement :
- la stabilité mécanique sous les sollicitations normales provenant des charges appliquées,
- la sécurité en cas d'incendie,
- la satisfaction aux exigences thermiques et acoustiques,
- l'étanchéité à la pluie pour les parois extérieures.

Le DTU 20.1 distingue 2 conceptions traditionnelles de murs en maçonnerie :

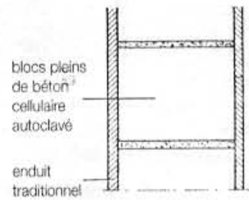
CLASSIFICATION DES MURS DE FAÇADE

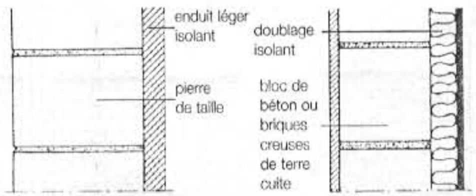
■ MURS À SIMPLE PAROI

Ils ne comportent qu'une paroi en maçonnerie.

- **Murs simples**

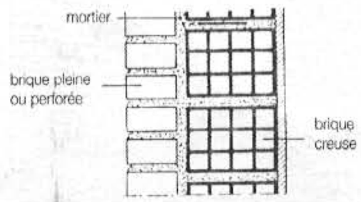
dont la paroi est constituée dans le sens de l'épaisseur par un seul matériau principal.





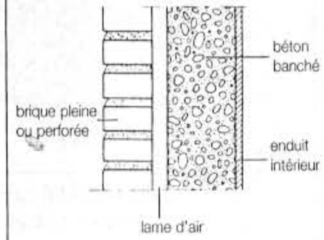
- **Murs composites**

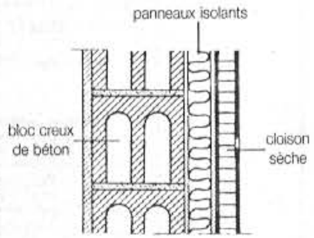
dont la paroi est constituée dans le sens de l'épaisseur par plusieurs matériaux principaux solidarisés de façon continue par du mortier ou du béton.

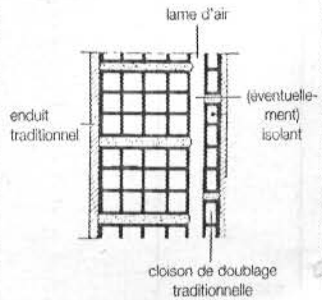


■ MURS À DOUBLE PAROI

Ils comportent 2 parois distinctes







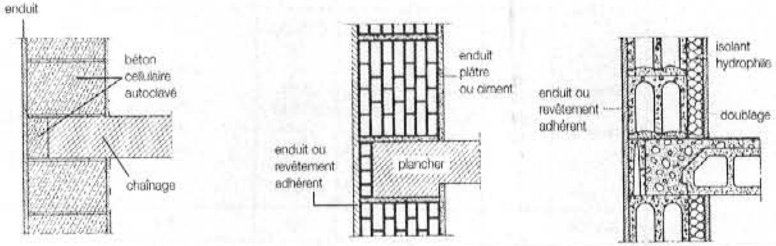
CLASSIFICATIONS DES MURS DE FAÇADE (suite)

On distingue 4 types de murs selon l'importance du rôle dévolu à la paroi de maçonnerie dans l'étanchéité du mur complet à la pluie.

MUR DE TYPE I

C'est un mur ne comportant à la fois :

- aucun revêtement étanche sur son parement extérieur,
- aucune coupure de capillarité dans son épaisseur.

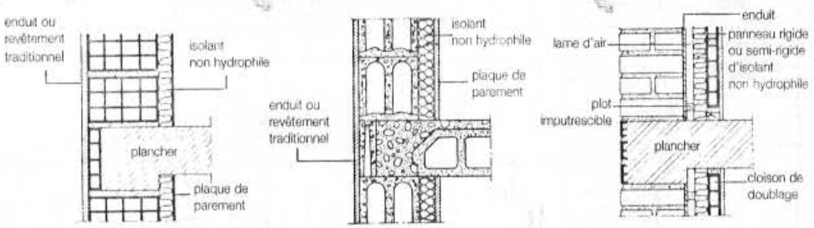


MUR DE TYPE II

C'est un mur ne comportant aucun revêtement étanche sur son parement extérieur, mais comportant dans son épaisseur une coupure de capillarité continue.

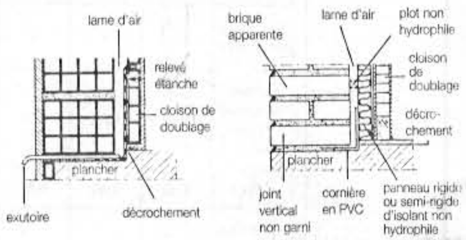
- Type II a
Coupure de capillarité constituée par des panneaux isolants non hydrophiles.

- Type II b
Coupure de capillarité constituée par une lame d'air continue.



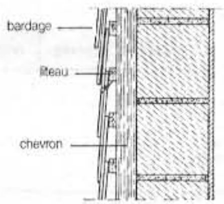
MUR DE TYPE III

C'est un mur dans lequel la paroi extérieure, non protégée par un revêtement étanche, est doublée par une seconde paroi séparée de la première par une lame d'air continue à la base de laquelle sont prévus des dispositifs de collecte et d'évacuation vers l'extérieur des eaux d'infiltration éventuelles.



MUR DE TYPE IV

C'est un mur dont l'étanchéité à la pluie est assurée par un revêtement étanche situé en avant de la paroi en maçonnerie.



CHOIX DU TYPE DE MUR DE FAÇADE EN FONCTION DE L'EXPOSITION À LA PLUIE

On distingue 4 situations de construction :

a. les constructions situées à l'intérieur des grands centres urbains,

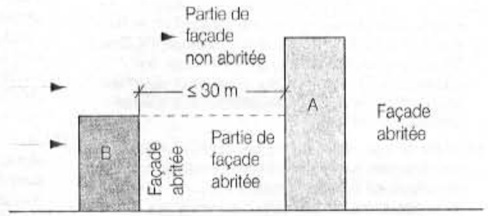
b. les constructions situées dans les villes petites et moyennes ou à la périphérie des grands centres urbains,

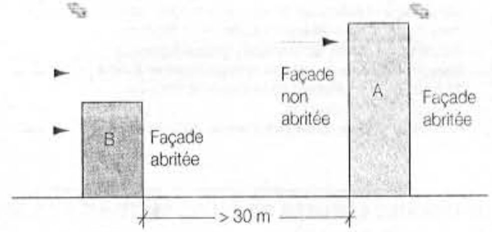
c. les constructions isolées en rase campagne,

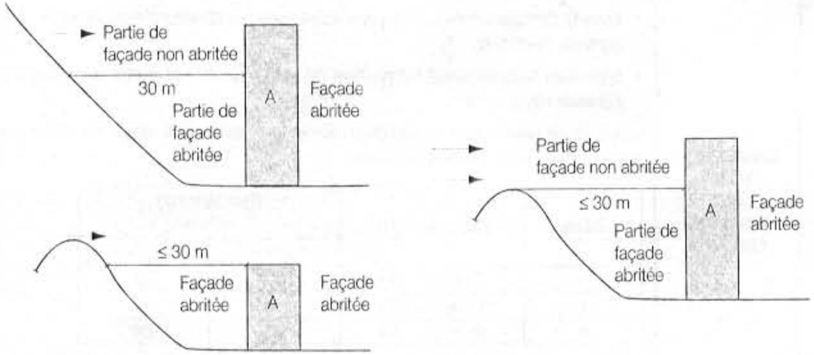
d. les constructions isolées en bord de mer ou situées dans les villes côtières lorsque ces constructions sont à une distance du littoral inférieure à une limite qui doit, dans les meilleures conditions, être au moins égale à 15 fois la hauteur réelle du bâtiment au-dessus du sol, et peut, dans les zones ou régions particulièrement exposées atteindre 5 à 10 km.

Les façades sont classées en 2 catégories en fonction de la présence ou de l'absence d'une protection contre le vent de pluie :

- les façades abritées,
- les façades non abritées.







En règle générale, ne sont considérées comme abritées que les façades ou parties de façades situées au plus à 28 m de hauteur. Les flèches indiquent la direction des vents de pluie.

CHOIX DU TYPE DE MUR DE FAÇADE EN FONCTION DE L'EXPOSITION À LA PLUIE (suite)

■ SOLUTIONS MINIMALES POUR LE CHOIX D'UN TYPE DE MUR DE FAÇADE

Maçonneries destinées à recevoir un enduit ou un revêtement traditionnel extérieur

Hauteur du mur au-dessus du sol (m)	Situation a, b, c	
	Façades abritées	Façades non abritées
< 6	I	I ou IIa (2)
6-18	I	I ou IIa (3)
18-28	I (1)	I ou IIa (4)
28-50		IIa ou IIb (2)
50-100		III ou IV (2)

Situation d		
Façades abritées	Façades abritées	
	Zone littorale sauf front de mer	Front de mer
I	I ou IIa (5)	IIb
I	IIa	IIb
I (1)	IIb	IIb (6) ou III
	III	III
	IV	IV

(1) Pour ces conditions d'exposition, les façades comportant des balcons et loggias ne peuvent, en règle générale, être considérées comme abritées.

(2) Excepté pour les murs du type IV, il n'a pas été tenu compte, dans l'analyse qui précède, de la nature du revêtement extérieur, qui peut cependant contribuer à la résistance à la pénétration de l'eau de pluie. Il reste, bien entendu, possible au concepteur d'user de ce paramètre pour préciser son choix en considération de la situation particulière de l'ouvrage.

(3) Le mur du type I ne peut, dans ces conditions d'exposition, être utilisé que lorsque l'épaisseur brute de la paroi en maçonnerie est supérieure ou égale à 27,5 cm. Dans les autres cas, la solution minimale est le mur de type IIa.

(4) Le mur du type I peut, dans ces conditions d'exposition, être admis en fonction des conditions climatiques particulières du lieu et sous réserve de justifications résultant d'expériences locales satisfaisantes, lorsque l'épaisseur brute de la paroi en maçonnerie est supérieure ou égale à 32,5 cm, en blocs perforés de terre cuite et blocs de béton de granulats courants.
Dans les autres cas, la solution minimale est le mur de type IIa.

(5) Le mur de type I peut, dans ces conditions d'exposition, être admis en fonction des conditions climatiques particulières du lieu et sous réserve de justifications résultant d'expériences locales satisfaisantes, lorsque l'épaisseur brute de la paroi en maçonnerie est supérieure ou égale à :
– 37,5 cm en blocs perforés de terre cuite,
– 27,5 cm en blocs de béton,
– 27,5 cm en blocs de béton cellulaire autoclavé.
Dans les autres cas, la solution minimale est la mur de type IIa.

(6) Le mur de type IIb peut, dans ces conditions d'exposition, être admis en fonction des conditions climatiques particulières du lieu et sous réserve de justifications résultant d'expériences locales satisfaisantes.
Dans les autres cas, la solution minimale est la mur de type III.

CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX COURANTS

■ BRIQUES CREUSES DE TERRE CUITE (NF P 13-301)

La norme distingue 2 types de briques creuses :

- **type C :** briques à faces de pose continues, destinées à être montées à joints de mortier horizontaux continus,
- **type RJ :** briques dites « à rupture de joint » destinées à être montées à joints de mortier horizontaux discontinus.

Les briques peuvent être classées d'après leur résistance moyenne à l'écrasement. On distingue :

- les briques à résistance garantie.

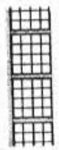
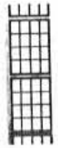
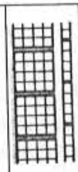
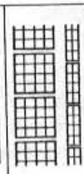
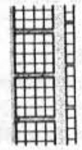
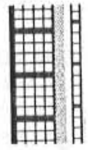
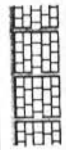
Catégorie	Désignation (1)	Résistance (2) en bars	
		moyenne	minimale
I	C. ou R. J. 40	40	32
II	C. ou R. J. 60	60	48
III	C. ou R. J. 80	80	64

(1) Il est rappelé que la résistance nominale à prendre en compte dans les calculs est la résistance moyenne de la catégorie considérée.
(2) Il s'agit de la résistance à l'écrasement rapportée à la surface brute de la brique.

- les briques ordinaires pour lesquelles la résistance à l'écrasement n'est pas garantie.

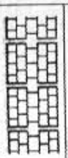
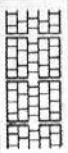
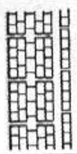
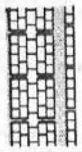
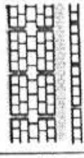
CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX COURANTS (suite)

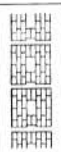
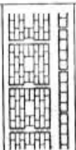
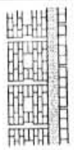
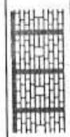
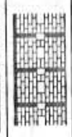
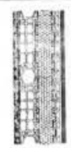
■ CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES BRIQUES CREUSES GELIS

Type du mur											
Dimension des produits	C 20-20-50	C 20-26,5-50	C 20-20-50 ou C 20-26,5-50 Lame d'air non ventilée cloison 5	C 20-20-50 ou C 20-26,5-50 Lame d'air non ventilée cloison 7	C 20-20-50 ou C 20-26,5-50 Isolant cloison 5			C 20-20-50 ou C 20-26,5-50 Isolant 3 cm Lame d'air non ventilée cloison 5			R.J. 22,5×20 ×50
Nombre de produits au m²	9,3	7	9,3	9,3	9,3			9,3			9,3
			7	7	7			7			
			12	12	12			12			
Poids du m² de mur fini (kg)	209	194	250	250	250			250			212
			235	235	235			235			
Quantité de liant au m² brut	20	16	20	20	20			20			17
			16	16	16			16			
			2	8	2			2			
Charges par ml admissibles R = 40	8	8	8	8	8			8			9
Nature de l'isolant	•	•	•	•	laine de roche	polystyrène classe 2	mousse de polyuréthanne	laine de verre	polystyrène classe 2	mousse de polyuréthanne	•
Épaisseur de l'isolant	•	•	•	•	7,5	6	6	7,5	6	6	•
Isolation thermique K(s)W/m²°C	1,65	1,65	1,15	1,08	0,39	0,47	0,36	0,37	0,44	0,35	1,46
Ru	0,60	0,60	0,87	0,92	2,56	2,12	2,77	2,70	2,27	2,85	0,68
Epaisseur mur fini (cm)	23	23	30	30	35	34	34	38	36	36	25,5
Type mur	refend	refend	IIb	IIb	I			IIb			I

DOC. GÉLIS

CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX COURANTS (suite)

Type du mur											
Dimension des produits	R.J. 25×20×50	R.J. 27× 20×50	R.J 22,5 / 25 / 27 20-50 Lame d'air non ventilée, cloison 5			R.J 22,5 / 25 / 27 20-50 Isolant, lame d'air non ventilée cloison 5			R.J 22,5 / 25 / 27 20-50 Isolant 3 cm de lame d'air non ventilée, cloison 5		
Nb de produits au m²	9,3	9,3	9,3 / 12			9,3 / 12			9,3 / 12		
Poids du m² de mur fini (kg)	226	250	250 / 264 / 288			250 / 264 / 288			250 / 264 / 288		
Quantité de liant au m² brut	19	22	17 / 19		22 / 2	17 / 19		22 / 2	17 / 19		22 / 2
Charges par ml admissibles R = 40	10	10,8	9	10	10,8	9	10	10,8	9	10	10,8
Nature de l'isolant	•	•	•			laine de roche	polystyrène classe 2	polyuréthanne	laine de roche	polystyrène classe 2	polyuréthanne
Ép. isolant	•	•	•			7,5	6	6	7,5	6	6
Isolation thermique K(s) W/m² °C	1,38	1,32	1,00	0,96	0,92	0,37	0,44	0,34	0,36	0,42	0,33
Ru	0,72	0,75	1,00	1,04	1,08	2,70	2,77	2,94	2,77	2,38	3,03
Ép. mur fini (cm)	28	30	33,5	36	38	40	38,5	38,5	43	41,5	41,5
Type mur	I	I	IIb			IIb			IIb		

Type du mur									
Dimension des produits	G8 20-20-50	G8 20-20-50 Lame d'air non ventilée cloison 5	G8 20-20-50 isolant, cloison 5			G10 27,5×20 ×50	G12 30×20×50	« S » 27×20×50	Polybric 32×25×50
Nb de produits au m²	9,3	9,3 / 12	9,3 / 12			9,3	9,3	9,3	8
Poids du m² de mur fini (kg)	224	262	262			261	300	259	230
Quantité de liant au m² brut	18	18 / 2	18 / 2			24	26	17	22,8
Charges par ml admissibles R = 40	8	8	8			10,8	12	8	avis technique 16/88-197
Nature de l'isolant	•	•	laine de roche	polystyrène classe 2	polyuréthanne	•	•	Polystyrène expansé moulé classe II	Polystyrène expansé moulé cl. III 20kg/m³
Ép. isolant	•	•	7,5	6	6	•	•	4	10 cm
Isolation thermique K(s) W/m² °C	1,30	0,93	0,37	0,43	0,34	1,06	1,00	0,61	0,29 (isolation par l'extérieur) niveau II
Ru	0,76	1,07	2,70	2,32	2,94	0,94	1,00	1,64	3,45
Ép. mur fini (cm)	23	31	35	33,5	33,5	30,5	33	30	35 cm - 3 cm de débord
Type mur	I	IIb	IIb			I	I	I	I

DOC. GÉLIS

CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX COURANTS (suite)

■ BLOCS EN BÉTON DE GRANULATS COURANTS (NF P 14-301)

Les blocs en béton sont dits « de granulats courants » lorsque la masse volumique du béton utilisé est supérieure à 1 700 kg/ m³.

Ces blocs peuvent être classés en 2 familles d'après leur résistance minimale à la compression garantie rapportée à la section brute :

	Blocs pleins et perforés			Blocs creux		
Classe de résistance	B80	B120	B160	B40	B60	B80
Résistance en MPa	8	12	16	4	6	8

Dimensions des blocs

- hauteurs possibles en cm : **20**, 25, 30
- épaisseurs possibles en cm : 7,5, **10**, 12,5, **15**, 17,5, **20**, **27,5**, 30, 32,5, 35
- longueurs possibles en cm : 30, **40**, **50**, 60

(en gras, dimensions les plus couramment utilisées)

■ BLOCS EN BÉTON DE GRANULATS LÉGERS (NF P 14-304)

Les blocs sont dits « de granulats légers » lorsque la masse volumique du béton utilisé est inférieure à 1 700 kg/ m³.

Ces blocs peuvent être classés en 2 familles d'après leur résistance minimale à la compression garantie rapportée à la section brute :

	Blocs pleins et perforés			Blocs creux	
Classe de résistance	L35	L45	L70	L25	L80
Résistance en MPa	3,5	4,5	7	2,5	4

Dimensions des blocs

- hauteurs possibles en cm : **20**, 25, **30**
- épaisseurs possibles en cm : **7,5**, **10**, 12,5, **15**, 17,5, **20**, 27,5, **30**, 32,5, 35
- longueurs possibles en cm : 30, 40, **50**, 60

(en gras, dimensions les plus couramment utilisées)

■ BLOCS EN BÉTON CELLULAIRE (NF P 14-306)

Les blocs en béton cellulaire autoclavé sont de structure homogène et ne comportent pas de cavité. Leur masse volumique est comprise entre 400 et 800 kg/m³.

Ces blocs peuvent être classés en 2 catégories suivant leur précision dimensionnelle :

- Catégorie C : blocs à coller
- Catégorie M : blocs à maçonner.

Dans chaque catégorie, les blocs sont classés suivant 2 critères :

- leur masse volumique nominale : MVn
- leur résistance caractéristique nominale à la compression : Rcn

MVn (kg/m³)	400	450	500	550	600	650	700	750	800
Rcn minimale correspondante (MPa)	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0

• Blocs lisses : blocs SIPOREX

Caractéristiques techniques

épaisseur cm	12⁵	15	20	25	30	32⁵	37⁵
hauteur cm	25/50		25				
longueur cm	62⁵						
MVn kg/m³	500		400				
utilisation en maçonnerie	non porteuses		porteuses				
résistance à la compression Mpa	4		3				
conductivité thermique utile W/m°C	0,17		0,13				

Emploi

Blocs à coller destinés à la réalisation de murs porteurs, de murs de remplissage et de mur coupe-feu. Produit traditionnel conforme à la norme NF P14-306 et de mise en œuvre suivant le DTU 20-1.

Avantages

- Isolation thermique.
- Inertie thermique.
- Isolation acoustique.
- Rapidité de mise en œuvre.
- Coupe-feu.
- Faible poids propre.

• Blocs Jumbo : blocs SIPOREX

Caractéristiques techniques

épaisseur cm	20	25	30	32⁵	37⁵
hauteur cm	50				
longueur cm	50/100				
MVn kg/m³	550		400/550		
résistance à la compression Mpa	4		3/4		
conductivité thermique utile W/m°C	0,19		0,13/0,19		

Emploi

Blocs à coller destinés à la réalisation de murs porteurs.

La mise en œuvre du bloc Jumbo est réalisée avec une grue et une pince spéciale.

Avantages

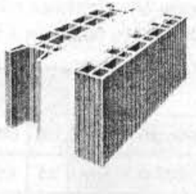
- Rapidité de mise en œuvre.
- 2 éléments au m².
- Isolation thermique.
- Inertie thermique.
- Isolation acoustique.
- Coupe-feu.

CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX COURANTS (suite)

■ BRIQUES PLEINES OU PERFORÉES ET BLOCS PERFORÉS EN TERRE CUITE (NF P 13-305)

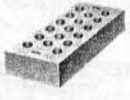
Les briques pleines ou perforées et les blocs perforés sont classés d'après leur résistance moyenne à l'écrasement. Ces produits sont soit pleins, soit perforés verticalement.

Polybric

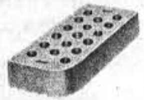


dimension	Q/m²	poids
32×25×50	8	18,5 kg

Brique perforée

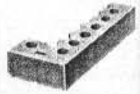


Brique perforée 1/4 de rond



dimension	Q/m²	poids
22×10,5×5	72 pour mur de 11	1,40 kg
	140 pour mur de 22	

Équerre de mulot



dimension	Q/m²	poids
22×10,5×5	16,5	0,9 kg

blocs				
	résistance à l'écrasement rapportée à la section brute			
catégorie	moyenne		minimale	
	Mpa	bar	Mpa	bar
ordinaire	10	100	8	80
BP 150	15	150	12	120
BP 200	20	200	16	160
BP 300	30	300	24	240
BP 400	40	400	32	320

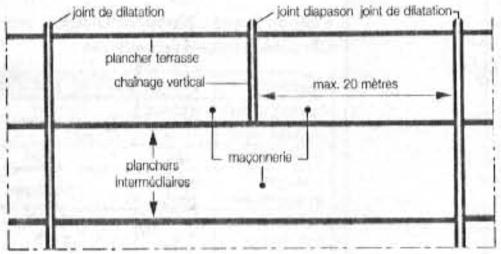
briques				
	résistance à l'écrasement rapportée à la section brute			
catégorie	moyenne		minimale	
	Mpa	bar	Mpa	bar
ordinaire	12,5	125	10	100
BP 200	20	200	16	160
BP 300	30	300	24	240
BP 400	40	400	32	320

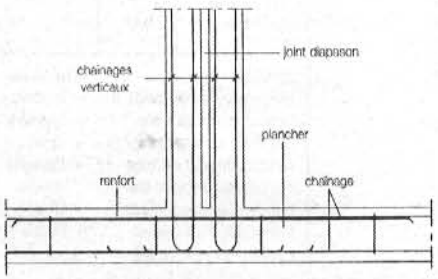
3.2 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES MINIMALES (DTU 20.1)

FRACTIONNEMENT DES MURS

Des joints de dilatation et de retrait sont nécessaires dans les maçonneries porteuses de grande surface. Leur espacement ne peut être supérieur à :
- 20 m dans les régions sèches,
- 35 m dans les régions humides ou tempérées.

Lorsque les ouvrages surmontant le plancher en béton armé de la toiture ont une résistance thermique inférieure à celle qui figure dans le DTU 20.12, il est nécessaire de recouper le gros-œuvre de la toiture et les maçonneries porteuses dans la hauteur du dernier étage par des joints supplémentaires, appelés « joints diapason » et prévus de telle sorte que la distance entre 2 joints de fractionnement successifs ne dépasse pas 20 m.

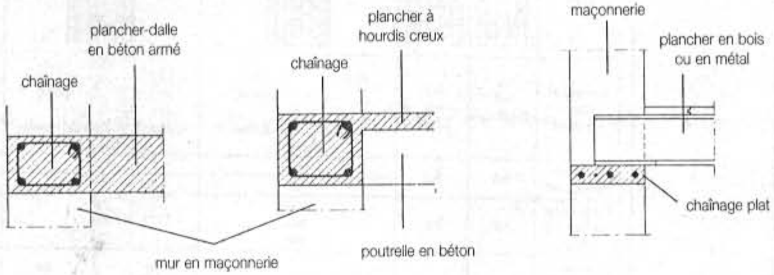




CHAÎNAGES HORIZONTAUX

■ SECTION TRANSVERSALE DU BÉTON

Les murs en maçonnerie porteuse sont ceinturés à chaque étage, au niveau des planchers, ainsi qu'en couronnement, par un chaînage horizontal en béton armé, continu et fermé. Ce chaînage ceinture les façades et les relient au droit de chaque refend.

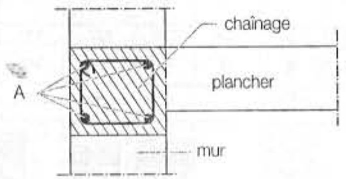


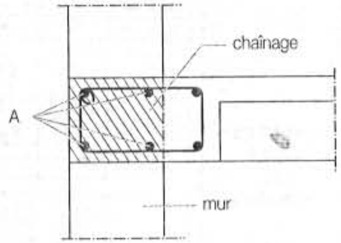
■ ARMATURES MINIMALES (ACIER FeE 500)

- **Étage courant**

$A \geq 1{,}5\ cm^2$ ou $A \geq 0{,}4\ (S/100)$

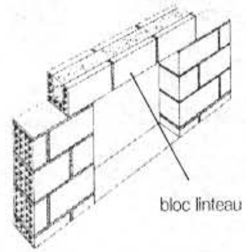
S : section hachurée

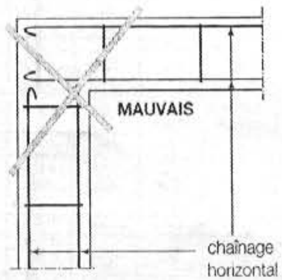


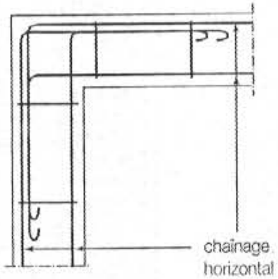


- **Planchers terrasse**

$A \geq 3{,}08\ cm^2$

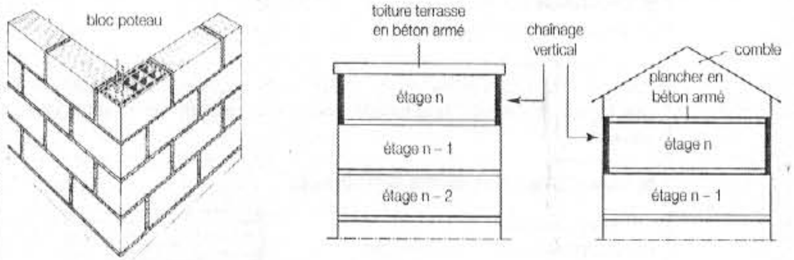






CHAÎNAGES VERTICAUX

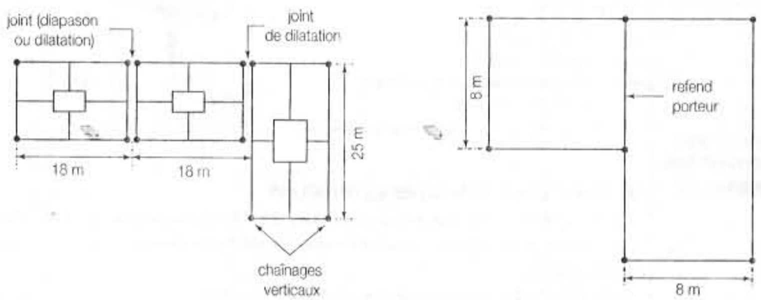
Ces chaînages doivent être réalisés au moins dans les angles saillants et rentrants des maçonneries, ainsi que de part et d'autre des joints de fractionnement du bâtiment.
Si le plancher haut du premier étage n'est pas en béton armé ou précontraint, les chaînages verticaux ne sont pas obligatoires.



Exemple d'implantation des chaînages verticaux (coupe horizontale)

Immeuble collectif

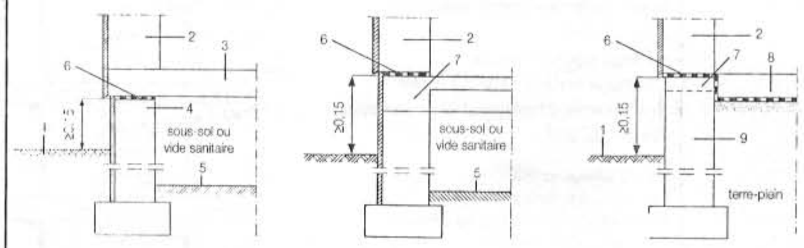
Maison individuelle



Armatures minimales : 2 HA (Haute adhérence) 10.

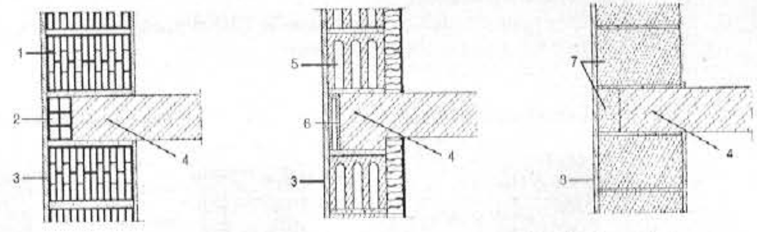
PROTECTION CONTRE LES REMONTÉES D'HUMIDITÉ DU SOL

Lorsque les murs de soubassement sont en maçonnerie de petits éléments, les maçonneries en élévation doivent être protégées des remontées d'eau du sol par une coupure de capillarité exécutée soit :
- à l'aide d'une bande de feutre bitumée ou d'une feuille de polyéthylène,
- à l'aide d'une chape de mortier de 2 cm d'épaisseur additionnée d'hydrofuge.



1. sol fini extérieur
2. maçonnerie en élévation
3. plancher
4. maçonnerie
5. sol fini intérieur
6. coupure de capillarité
7. chaînage
8. dallage
9. maçonnerie de soubassement

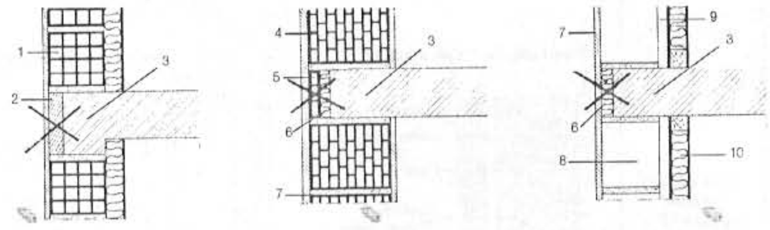
■ HABILLAGE EXTÉRIEUR DES CHAÎNAGES EN BÉTON ARMÉ AVEC DE LA MAÇONNERIE



1. brique creuse de terre cuite
2. brique creuse
3. enduit
4. chaînage
5. bloc creux en béton de granulats courants
6. « planelle » en béton
7. béton cellulaire autoclavé

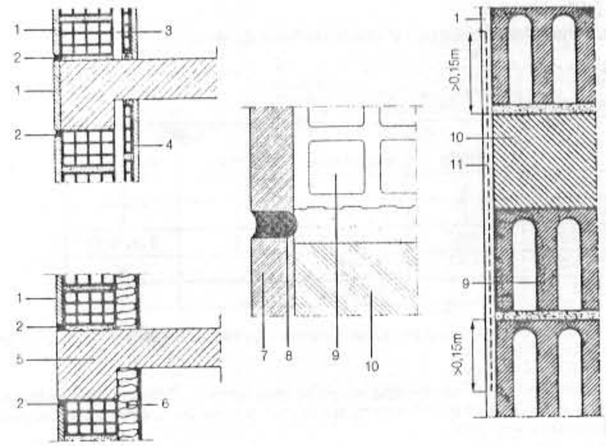
POINTS SINGULIERS

■ HABILLAGE EXTÉRIEUR DES CHAÎNAGES EN BÉTON ARMÉ, SOLUTIONS NON ADMISES



1. brique creuse de terre cuite
2. brique pleine ou perforée
3. chaînage
4. brique creuse
5. brique plâtrière (ép. < 10 cm)
6. panneau isolant (polystyrène expansé, etc.)
7. enduit
8. maçonnerie
9. lame d'air
10. cloison de doublage

■ JOINTS ENTRE LA MAÇONNERIE ET UN CHAÎNAGE OU LINTEAU EN BÉTON ARMÉ



1. enduit
2. joint
3. lame d'air
4. cloison de doublage
5. chaînage non enduit
6. doublage isolant
7. enduit ou revêtement
8. joint rempli de mastic plastique
9. maçonnerie
10. chaînage
11. grillage

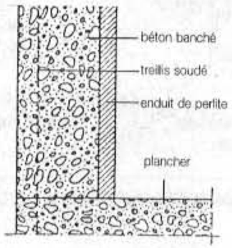
3.3 MURS EN BÉTON BANCHÉ (DTU 23.1)

Les murs en béton banché sont des ouvrages verticaux, coulés dans des coffrages (banches) à leur emplacement définitif.

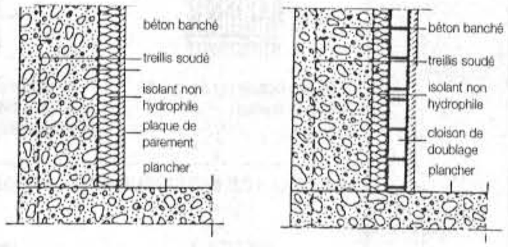
Comme pour les murs en maçonnerie, le DTU classe les murs de façade en béton banché en 4 types répondant aux mêmes critères.

CHOIX DU TYPE DE MUR EN FONCTION DE L'EXPOSITION À LA PLUIE

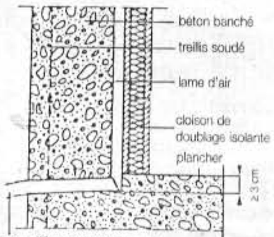
Exemple de murs type I



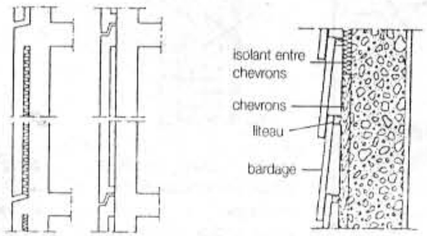
Exemples de murs type II



Exemple de murs type III



Exemples de murs type IV



Les caractéristiques de façade abritée ou non abritée sont identiques à celles définies pour les murs en maçonnerie.

- **Solutions minimales pour le choix du type de mur**

hauteur de paroi	situation			
	a, b ou c		d	
(m)	façade		façade	
	abritée	non abritée	abritée	non abritée
< 6	I	I	I	II
de 6 à 18	I	II	I	II
de 18 à 28	I (1)	II	I	II ou III (2)
de 28 à 50		II		III
> 50		II à IV (3)		IV

(1) Dans ces conditions d'exposition, les façades comportant des balcons et loggias ne peuvent, en règle générale, être considérées comme abritées.

(2) III en bord de mer seulement.

(3) Il n'a pas été tenu compte dans l'analyse qui précède de la nature du revêtement des murs type II et III qui peut cependant contribuer à la résistance à la pénétration de l'eau de pluie, et il reste bien entendu possible au concepteur d'utiliser ce paramètre pour préciser son choix.

DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES MINIMALES

Les murs en béton doivent être munis d'armatures minimales dites de comportement. Les valeurs données ci-dessous correspondent à des aciers de limite d'élasticité égale à 500 MPa. Pour l'utilisation d'aciers à limite d'élasticité différente, on procédera par règle de trois sur les valeurs ci-dessous.

■ CHAÎNAGE AU NIVEAU DES PLANCHERS

La section minimale d'acier de chaînage est fixée à :

CH ≥ 1,2 cm² dans le cas de chaînage entre un plancher et un mur pignon, un mur contre terre, une façade maçonnée, une façade coulée en place.

CH ≥ 0,23 L (en cm²) dans les autres cas où L représente la largeur de plancher en mètre qui reporte ses charges verticales sur le mur.

■ ARMATURES DES MURS INTÉRIEURS

- **Étages courants**

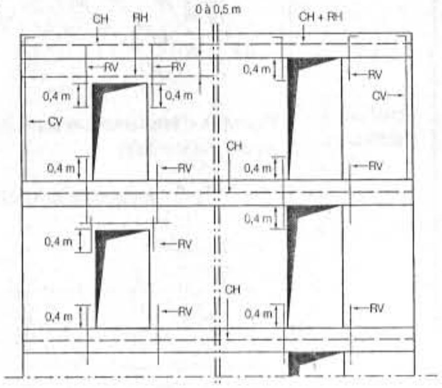
Renforcement vertical au voisinage des angles de baies : RV ≥ 0,68 cm²

- **Étage sous terrasse**

Chaînage vertical :
CV ≥ 1,2 cm²

Renforcement horizontal sous terrasse :
RH ≥ 1,2 cm²

CV chaînage vertical
CH chaînage horizontal
RV renforcement vertical au voisinage des angles de baies
RH renforcement horizontal sous terrasse



■ ARMATURES DES MURS EXTÉRIEURS

L'épaisseur minimale des murs extérieurs doit être au moins égale à 15 cm dans les parties courantes. Ces murs doivent comporter une armature de peau respectant les dispositions minimales suivantes :

0,96 cm² d'acier horizontal/mètre (entraxe ≤ 33 cm)

0,48 cm² d'acier vertical/mètre (entraxe ≤ 50 cm)

- **Étages courants**

Renforcement vertical au voisinage des angles de baies : RV ≥ 0,68 cm²

Renforcement horizontal au voisinage des angles de baies : RH1 ≥ 0,8 cm²

- **Avant dernier plancher**

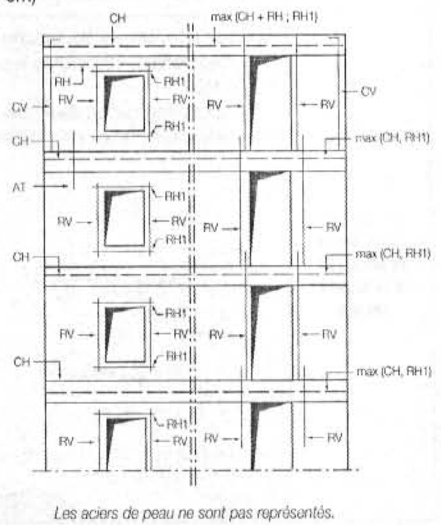
Aciers verticaux complémentaires :
AT ≥ 0,8 cm²

- **Étage sous terrasse**

Chaînage vertical : CV ≥ 1,2 cm²

Renforcement horizontal sous terrasse :
RH ≥ 1,88 cm²

CV chaînage vertical
CH chaînage horizontal
RV renforcement vertical au voisinage des angles de baies
RH1 renforcement horizontal au voisinage des angles de baies
RH renforcement horizontal sous terrasse
AT aciers verticaux complémentaires



Les aciers de peau ne sont pas représentés.

4 PLANCHERS ET DALLAGES

Les planchers d'une construction doivent remplir différentes fonctions :

- relatives à la stabilité de l'ouvrage :
  - reprise et transmission des charges aux porteurs verticaux,
  - contreventement du bâtiment,
  - stabilité au feu (respect de la réglementation incendie).
- relatives à la fonction de séparation entre deux niveaux selon les cas :
  - isolation thermique,
  - isolation acoustique (bruits aériens et bruits d'impact),
  - protection contre l'incendie (pare-flamme et coupe-feu).

4.1 PLANCHERS À PRÉDALLES

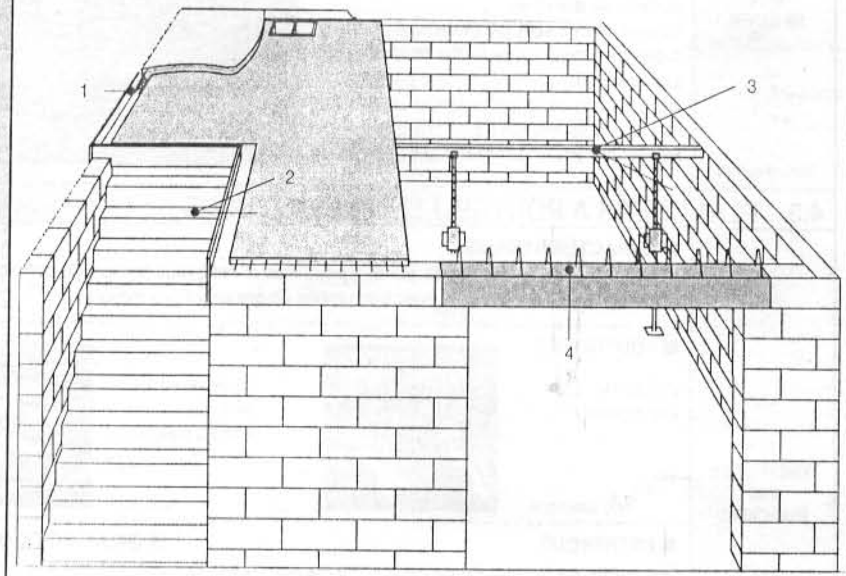
■ CARACTÉRISTIQUES

Le coffrage de ces planchers est réalisé à l'aide de prédalles en béton armé ou précontraint d'épaisseur variant de 5 à 12 cm suivant la portée (épaisseur courante : 5 cm).
Ces prédalles permettent de franchir des portées pouvant aller jusqu'à 10 mètres.
Leur largeur industrielle courante est de 2,50 mètres.
Elles sont destinées à servir à la fois d'armature inférieure et de coffrage d'un plancher dalle pleine d'épaisseur généralement comprise entre 10 et 30 cm (épaisseur courante : 20 cm).

MISE EN ŒUVRE

■ EXEMPLE DE MONTAGE

L'usage des lisses garantit le meilleur appui possible des prédalles, évite l'arasement des murs et le travail d'ajustement.
Pour les joints entre prédalles, un treillis soudé spécial PPB peut être livré avec les prédalles.



1. coffrage de rives ou prédalle PPB de rive, munie d'un becquet sur demande.
2. trémie d'escalier réservée lors de la fabrication en usine PPB.
3. ligne d'étaiement réglé à niveau des appuis.
4. l'appui sur poutre de rive ou de refend se fait directement sur l'arête rectiligne des poutres PPB. Elles sont munies d'étriers de forme facilitant la pose des prédalles.

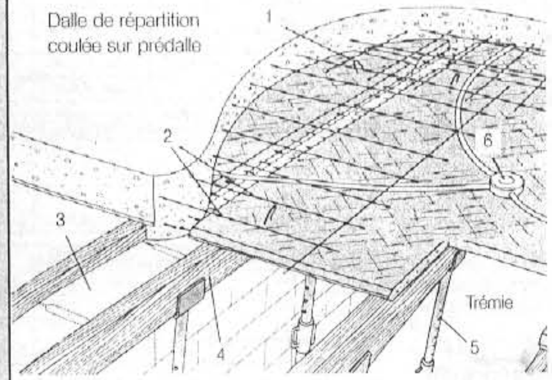
DOC. SARET-PPB

■ ARMATURES

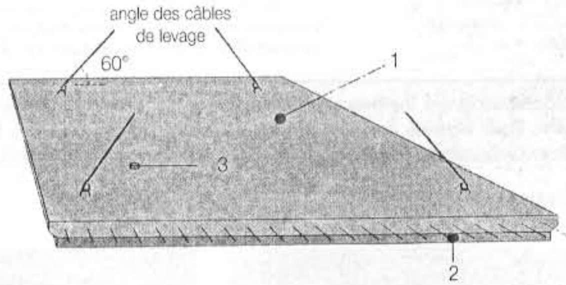
Les armatures principales du plancher se trouvent dans la prédalle. Les armatures restant à mettre en place sur le chantier correspondent :

- aux chapeaux reprenant les moments sur appuis.
- aux armatures en renfort au droit des trémies (dimension supérieure à 60 cm).
- aux bandes de treillis soudés de 65 cm de large environ à chaque joint de prédalle pour transmettre les efforts transversaux d'une prédalle à l'autre.

MISE EN ŒUVRE (suite)



1. treillis soudés au droit du joint entre prédalles.
2. chapeaux à 2 cm de la face supérieure de la dalle.
3. appui.
4. lisse de rive éventuelle.
5. file d'étais.
6. boîtier électrique.



1. prédalle à sous-face isolante montée en usine.
2. isolant thermique mis en place en usine.
3. boîtiers électriques mis en place aux endroits voulus, lors de la fabrication en usine.

• **Remarques**

Pour la mise en œuvre des prédalles PPB, une simple grue de chantier suffit. Poids standards : 1 500 kg par prédalle jusqu'à 5 m de longueur, 2 700 kg jusqu'à 7 m (ci-dessus, document PPB).

Sur un mur en maçonnerie, l'appui minimum est de 4 cm. Sur un élément en béton (voile ou poutre), l'appui doit être au moins de 2 cm pour une pose avec étais et de 4 cm pour une pose sans étais.

DOC. SARRET-PPB

PRÉDALLES SPÉCIFIQUES PPB

■ TYPES

Prédalle acoustique
Incorporation d'un isolant acoustique en sous-face (logements collectifs).

Prédalle feu
Permet de répondre à des exigences spécifiques vis-à-vis de la sécurité incendie.

Prédalle grande portée
Permet de franchir des portées de 7 à 10 mètres.

Prédalle sans étai
Permet de supprimer l'étaiement dans le cas où celui-ci est difficile à réaliser.

Prédalle sismique
Comprend des renforts d'armatures permettant dans les zones sismiques de répondre aux exigences des règles PS 69 (règles parasismiques).

PRÉDALLE STANDARD P.P.B.

C'est une prédalle de 5 cm d'épaisseur et de 2,5 m de largeur, dont le profil de rive a été spécialement étudié pour favoriser l'accrochage des produits de traitement de joint ou rive préconisé.

Les calculs sont réalisés conformément au CPT planchers à prédalles de mars 1985 ; TITRE II.

- Précontrainte par des aciers de précontrainte de Ø 4 ou 5 mm.
- Treillis soudé de répartition transversale des efforts incorporé.
- Crochets de levage incorporés.
- Béton dosé de 400 à 450 kg/m³ de CPA – CEMI 52,5 R : ce qui donne à 28 jours une résistance supérieure à 40 MPa.

Avis du CSTB :

- avis technique du système SARET.
- Certificats d'Éléments de Structure émis par le CACÈS pour chaque usine PPB.

Contrôles :

- par le laboratoire de l'usine PPB : à chaque fabrication
- par le CSTB : périodiquement (CACÈS).

Le tableau de portées limites intègre toutes les vérifications : phases provisoires, flexion, effort tranchant dispensant les coutures avec Tbo = 0,35 MPa et flèche active (stockage court).
Charges appliquées :

- 100 + 250 daN/m² (bureaux).
- Prédalle de 5 cm, d'à 2 cm et 17 Ø 5/m.

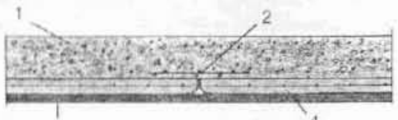
Portées limites en appui libre (en m)				
Épaisseur plancher ▶ Étaiement ▼	16 cm	20 cm	24 cm	28 cm
0 étai	2,49	2,29	2,13	2,00
1 étai	4,94	4,58	4,31	4,09
2 étais	6,27	6,34	5,97	5,67
3 étais		7,22(1)	7,80 (1)(2)	**7,71**(1)
Travée de rive : 1 encastrement (0,50 Mo)				
0 étai	2,49	2,29	2,13	2,00
1 étai	4,94	4,58	4,31	4,09
2 étais	6,70 (1)	6,34	5,97	5,67
3 étais		7,73 (1)	**8,11**(1)(2)	**7,71**(1)
Travée intermédiaire : 2 encastrements (0,40 Mo)				
0 étai	2,49	2,29	2,13	2,00
1 étai	4,94	4,58	4,31	4,09
2 étais	6,83 (1)	6,34	5,97	5,67
3 étais	7,25 (1)	8,40 (1)(2)	**8,11**(1)(2)	**7,71** (1)

(1) : indique qu'il faut stocker sur 3 appuis.
(2) : indique qu'il faut 6 crochets de levage pour la manutention au lieu de 4.
Nombres en caractères gras : il faudrait employer une prédalle de 6 cm afin d'augmenter les performances (la mise en œuvre étant prépondérante).

PRÉDALLE THERMIQUE P.P.B.

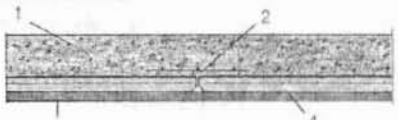
Les prédalles isolantes thermiques sont munies en sous-face de différents types et épaisseurs d'isolants. Dans certains cas, ces isolants répondent, parallèlement à l'isolation thermique, à d'autres critères comme l'amélioration acoustique et la protection incendie.

ISO 23 Fibraggio



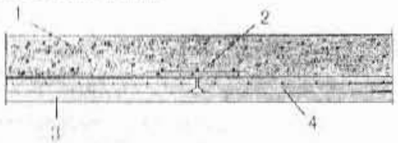
1. dalle de compression en béton.
2. treillis soudé cranté au droit du joint
3. fibraggio 2 à 10 cm
4. prédalle PPB de 5-6-8-10 ou 12 cm

ISO 24 Fibrastyrène



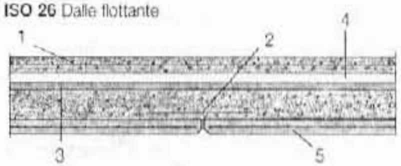
1. dalle de compression en béton.
2. treillis soudé cranté au droit du joint
3. fibrastyrène 5 à 10 cm
4. prédalle PPB de 5-6-8-10 ou 12 cm

ISO 24 Laine minérale



1. dalle de compression en béton.
2. treillis soudé cranté au droit du joint
3. laine minérale 2,5 à 12 cm
4. prédalle PPB de 5-6-8-10 ou 12 cm

ISO 26 Dalle flottante



1. dalle flottante de 5 cm
2. treillis soudé au droit du joint
3. matériau résilient
4. matériau isolant thermique en polystyrène
5. prédalle PPB

DOC. SARET-PPB

Prédalles	Ru en m² °C/W	Épaisseur de l'isolant en cm	Épaisseur totale du plancher en cm	Kp Étages courants et sous combles	Kp Sous-sol	Kp Vide sanitaire	Sécurité incendie	Portées en mètres
ISO 23 Fibraggio	1,05 0,54 0,32 dalle de 18 cm	7,5 4 2	30 à 18 + l'épaisseur de l'isolant		0,72 1,14 1,52	0,72 1,14 1,52	Coupe feu jusqu'à 4 h.	Dalle porteuse : 5 + 13 = 18 cm Portée : 6,70 m 2 étais
ISO 24 Fibrastyrène	Fibra E / Fibra FEU 2,31 2,16 1,72 1,57 1,12 0,97 dalle de 18 cm	10 7,5 5	30 à 18 + l'épaisseur de l'isolant		0,40 0,52 0,76 Fibra FEU	0,38 0,49 0,68 Fibra E	Coupe feu 1 h à 3 h (calculs DTU). Fibra E uniquement en vide sanitaire	Dalle porteuse : 6 + 12 = 18 cm Portée : 6,70 m 1 étai Ces portées tiennent compte de 50 kg/m2 de sous-face
ISO 24 Laine minérale	3,10 2,60 1,10 dalle de 18 cm	12 10 4			0,29 0,34 0,69	0,29 0,34 0,69	Coupe feu 1 h à 3 h suivant calculs DTU.	
ISO 26 Dalle flottante	1,61 1,31 1,11 dalle de 14 cm	6 5 4	32 à 23	0,56 0,65 0,78	0,51 0,59 0,69		Coupe feu 1 h à 3 h suivant calculs DTU Feu.	Dalle porteuse : 5 + 13 = 18 cm Portée : 6,52 m 2 étais

4.2 DALLE PLEINE EN BÉTON ARMÉ

MISE EN ŒUVRE

■ CARACTÉRISTIQUES

C'est une dalle constituée d'une plaque de béton armé coulée en place de 8 à 20 cm d'épaisseur suivant la portée.
La réalisation d'une dalle pleine nécessite la mise en place d'un coffrage sur toute la surface du plancher.
Les armatures sont généralement constituées de panneaux de treillis soudés.
Les armatures principales sont placées dans le sens de la petite portée et les armatures secondaires sont placées perpendiculairement (cf.«Béton armé» 32.6).



DOC. CIMBETON

4.3 PLANCHERS À POUTRELLES ET ENTREVOUS

CONSTITUTION DES PLANCHERS

■ CARACTÉRISTIQUES

Ces planchers sont constitués par des poutrelles et entrevous servant de coffrage à un béton de clavetage coulé en place. Ils sont très utilisés en constructions individuelles.

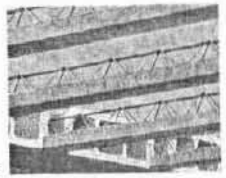
■ POUTRELLES

en béton précontraint



DOC. SARET-PPB

en béton armé
talon BA
+ treillis métallique



DOC. ACOR

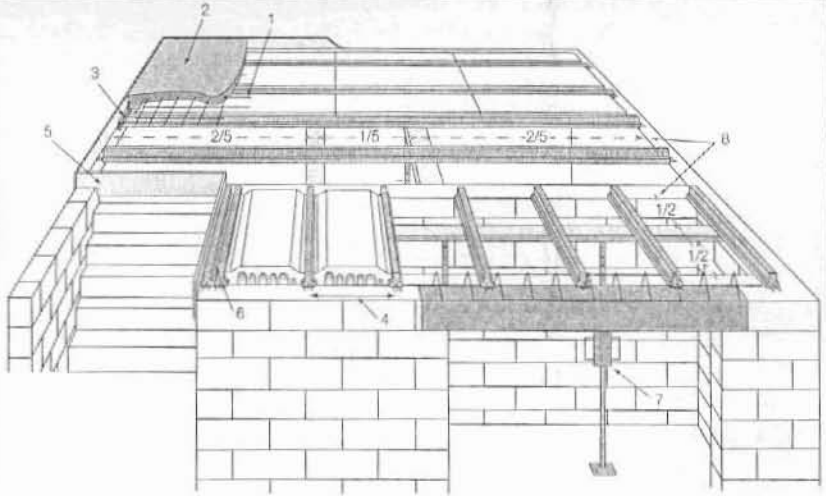
■ ENTREVOUS

Les entrevous servent de coffrage entre les poutrelles, ils peuvent être en béton, en terre cuite, ou en polystyrène.
L'entraxe des poutrelles recevant ces entrevous varie de 60 à 65 cm suivant les fabricants.
La hauteur des entrevous peut varier suivant les utilisations de 6 cm (plaque négative) jusqu'à 25 cm pour des planchers reprenant de fortes charges.

■ DALLE DE COMPRESSION

Elle est réalisée en béton coulé en place sur le complexe poutrelles-entrevous et présente une épaisseur courante de 4 à 5 cm. Elle est armée d'un treillis soudé.

MISE EN ŒUVRE DES PLANCHERS

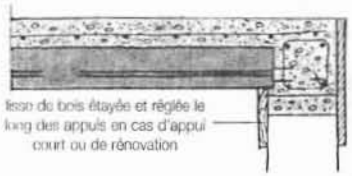


1 **Treillis soudé**
Treillis courant -
3,5 x 3,5/200 x 300 pour dalle de 4 à 5 cm d'épaisseur avec entraxe des nervures de 60 cm. (La maille la plus grande étant toujours posée perpendiculairement à l'axe des poutrelles.)
2 **Béton de la dalle**
3 **Chapeau (acier de)**
Pose après le treillis soudé.
4 **Entrevous isolants** : entraxe de 63 cm généralement. L'entraxe est de 60 cm avec les entrevous à sous-face fibraggio et lattis métalliques.
5 **Traitement des rives.**
• Par habillage selon matériau du mur porteur (pierre, brique... ou planelle béton sur mur en parpaings).
• Traitement par coffrage classique bois (en intérieur)...
6 **Pose**
Jumelée éventuellement (chevêtres et trémies d'escalier).
7 **Blocage de l'étai** sans forcer sur l'étaiement.
8 **Distance d'étaiement. Appui des poutrelles**
• Dans un mur ancien : percement d'un trou, 10 à 20 cm de pénétration de la poutrelle, posée sur un lit de portier.
• Pose sur mur arasé : appui minimum : 5 cm.
• Pose sur poutre : appui minimum : 2,5 cm.
• Sur mur non arasé ou en cas d'arase irrégulière : pose sur bastaing – ou lisse de rive – avec étaiement ; l'appui est coulé avec la dalle.

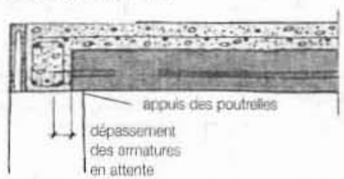
■ POSE

Comme pour les prédalles, les poutrelles doivent être étayées au-delà de certaines portées. Le nombre de files d'étais est donné par le fabricant sur le plan de calepinage des poutrelles.

Pose admise



Pose recommandée



■ STOCKAGE

Les poutrelles seront stockées en appui sur des chevrons d'épaisseur égale disposés perpendiculairement à l'axe des poutrelles, à moins de 20 cm de leurs extrémités.

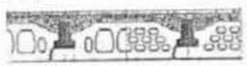
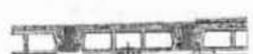
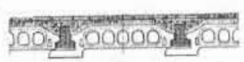
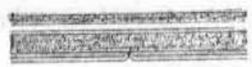
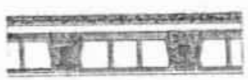
Les chevrons devront être alignés verticalement les uns au-dessus des autres pour assurer une descente de charge correcte.
On s'assurera une bonne assise au sol.

DOC. SARET-PPB

PLANCHERS PPB

■ TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PLANCHERS PPB

Ru Résistance thermique en m² °C/W
K Coefficient de transmission surfacique en W/m² °C
Plancher à entrevous en polystyrène ignifugé, classé M1 en essai de réaction au feu.
M1 Classification à l'essai de réaction au feu
CF Durée coupe-feu
Ces planchers sont également isolants phoniques

ISO 4 VL.F23 VL.F18 *Fibraggio*		K = 0,34 et 0,40 Ru = 2,57 et 2,16 CF = 1/2h, classé M1 NF FEU n° 40	**ISO 22**		CF = 1/2h, sans plâtre, sinon jusqu'à 6h
HIT 1.9-2.3 **HIT 1.9-18** *A plâtrer*		K = 0,38 à 0,45 Ru = 2,29 et 1,88 CF = 1h et 1/2 plâtré	**ISO 9** *Plaque de plâtre*		K= 0,46 à 0,62 Ru = 1,82 à 1,44 CF = 2h
SFP 23 **SFP 18 S** *Décor*		K = 0,38 et 0,45 Ru = 2,20 et 1,88 CF = 1/2h, classé M1 NF FEU n° 40	**ISO 8** **ISO 28**		K= 0,50 à 0,71 Ru = 1,18 à 1,68 CF = 1h à 6h
ISO 4 VL23 VL18S *Bouchardé*		K = 0,38 et 0,45 Ru = 2,29 et 1,88 CF = 1/2h, classé M1 NF FEU n° 40	**SOUNDBLOX**		K= 0,41 à 0,45 Ru = 2,07 CF = 2h
ISO 4 I.20.GS I.16.GS *Granité*		K = 0,46 Ru = 1,65 CF = 1/2h, classé M1	**ISO 23** *Fibraggio*		K= 0,72 à 1,52 Ru = 1,05 à 0,32 CF = jusqu'à 4h
ISO 4 N1		K = 0,57 Ru = 1,40 CF = 1/2h	**ISO 24** *Fibrastyrène*		K= 0,38 à 0,66 Ru = 2,31 à 1,12 CF = jusqu'à 3h
ISO 4 L12.VS L16.VS		K = 0,50 et 0,57 Ru = 1,51 et 1,40 CF = 1/2h	**ISO 24** *Laine minérale*		K= 0,29 à 0,69 Ru = 3,10 à 1,10 CF = jusqu'à 3h
ISO 4 N3		K = 0,50 Ru = 1,66 CF = 1/2h M1 possible	**ISO 25** *Loi de masse*		CF = jusqu'à 3h
ISO 1		K = 0,29 Ru = 3,15	**ISO 26** *Dalle flottante*		K= 0,51 à 0,78 Ru = 1,61 à 1,11 CF = jusqu'à 3h
ISO 5 TCI		K = 0,50 à 0,66 Ru = 1,68 à 1,18 CF = 1/2h sans plâtre, sinon jusqu'à 6h	DOC. SARET-PPB		

DALLE ALVÉOLÉE GUIRAUD FRÈRES

■ CARACTÉRISTIQUES

Ce sont des dalles en béton précontraint par armatures adhérentes, présentant des alvéoles longitudinales permettant d'alléger la structure. Elles peuvent être complétées ou non par une dalle coulée en œuvre.

Le montage sans étai quasi systématique permet de réduire les temps de réalisation.

Les clavetages en béton fin réalisés entre les dalles sont simples et rapides à mettre en œuvre ; le nombre d'armatures complémentaires est très réduit.

Ces dalles sont surtout utilisée pour la couverture et les planchers intermédiaires dans :

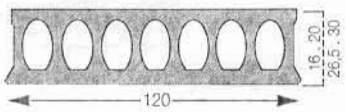
- les constructions industrielles,
- les immeubles de bureau,
- les parkings, etc.

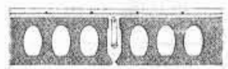
■ AVANTAGES

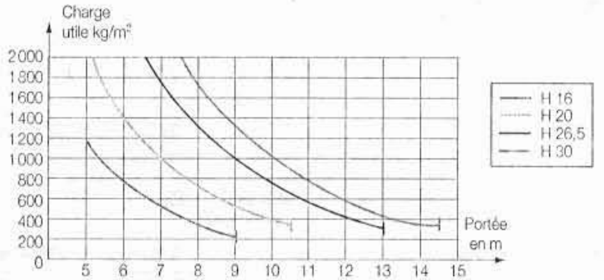
- Grandes portées possibles (18 à 20 m) pour des épaisseurs de planchers relativement faibles.
- Sous-face plane.
- Très bon comportement au feu : en règle générale, elle atteint 2 heures.

Pour des charges de grande importance ou dans le cas où il est nécessaire d'obtenir des ouvertures dans le plancher, on peut utiliser la dalle alvéolée « ***type B*** » avec ou à la place du « ***type A*** ».

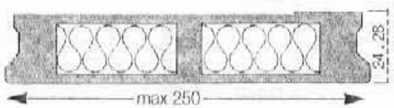
■ TYPE A

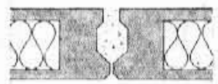


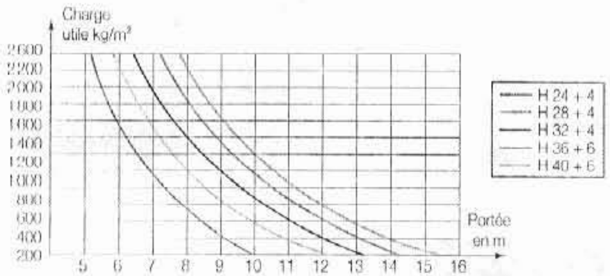




■ TYPE B





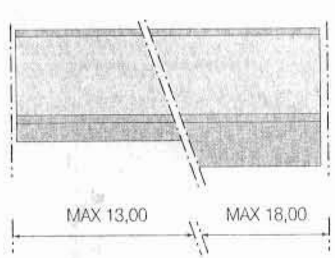


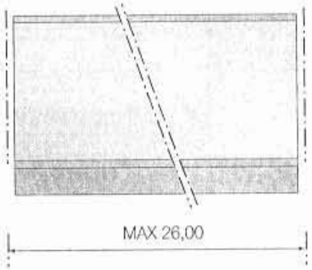
DOC. EUROBÉTON

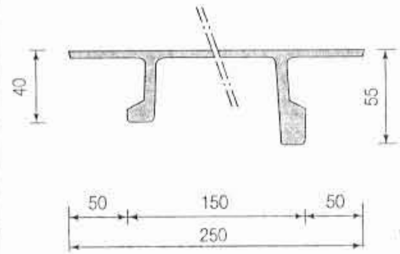
PLANCHER EN FORME DE T

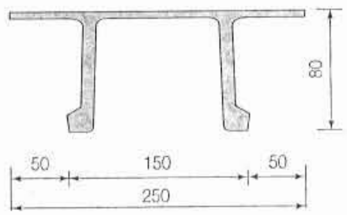
■ PLANCHER TT, SYSTÈME PLANDAL

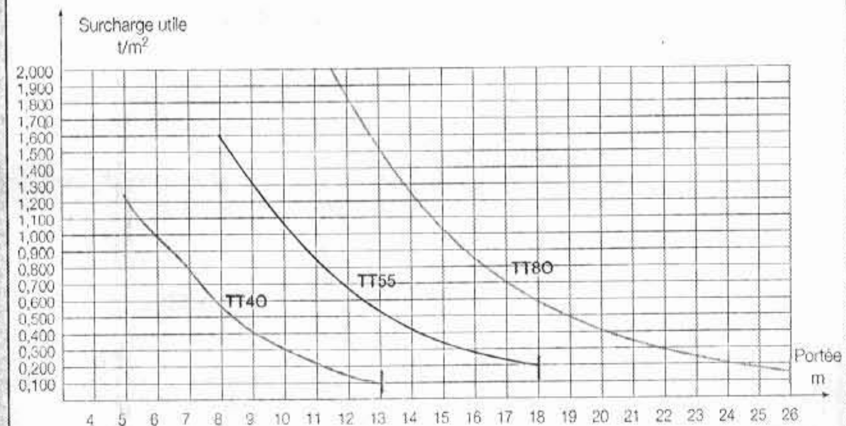
Ce sont des éléments particulièrement bien adaptés pour des structures à couverture plane de grande portée (jusqu'à 26 m), et des planchers devant supporter des charges élevées. La largeur standard des éléments est de 2,50 m. On peut rajouter sur les éléments préfabriqués une dalle complémentaire en béton armé.







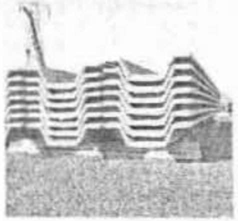




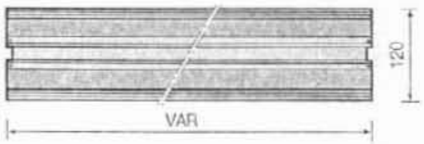
DOC. EUROBETON

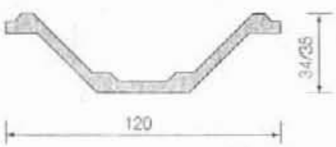
■ PLANCHER CAISSON « DALLA », SYSTÈME PLANDAL

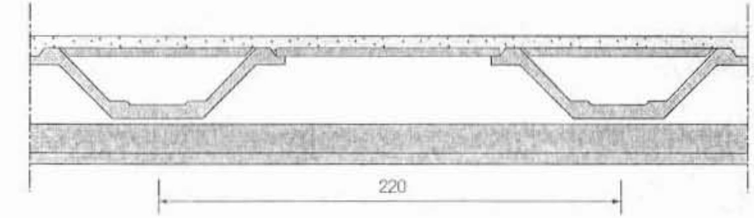
Ce sont des éléments en forme de caisson recevant un dalle supérieure. La dalle supérieure peut être préfabriquée ou coulée en place sur coffrage perdu. Ils sont utilisés pour la couverture en pente et pour des portées et des charges moyennes dans les constructions industrielles essentiellement.

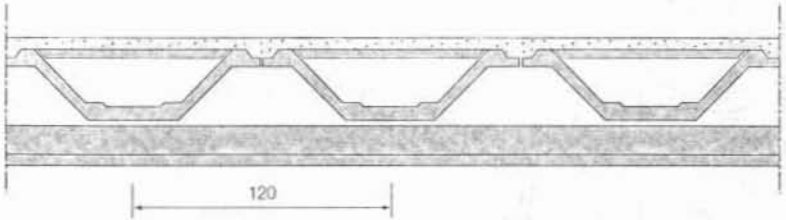


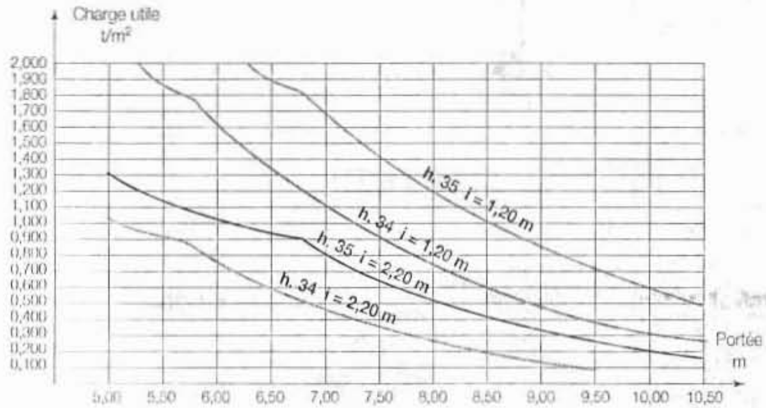
PLANCHER CAISSON











DOC. EUROBÉTON

4.5 PLANCHERS COLLABORANTS

Ces planchers, surtout utilisés pour des constructions à structure porteuse métallique, sont constitués de bacs acier associés à un plancher béton.

Les bacs acier dits « collaborants » se substituent dans les applications courantes à l'armature basse du plancher et il suffit de compléter le bac acier par un treillis soudé de table. L'économie d'armature oscille entre 3 et 6 kg d'acier par mètre carré, fourniture et pose.

• Caractéristiques

- Tôle d'acier nuance C 330.
- Limite élastique garantie 33 daN/mm².
- E = 21 000 daN/mm².

• Épaisseurs nominales

0,75 mm ou 0,85 mm pour Cofrastra 40.

0,75 mm – 0,88 mm ou 1 mm pour Cofrastra 70.

La galvanisation est comprise dans ces épaisseurs pour 0,04 mm.

• Largeur utile

0,75 m pour Cofrastra 40.

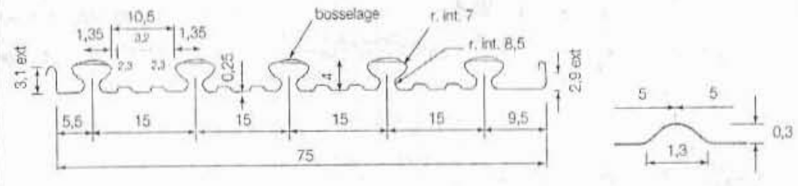
0,732 mm pour Cofrastra 70.

• Longueurs

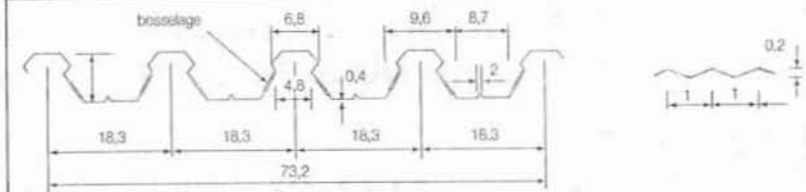
À spécifier à la commande.

Longueurs conseillées en pose filante 6 m à 9 m.

PROFILS COFRASTA



COFRASTA 40



COFRASTA 70

Consommation de béton (l/m²) **et poids propre du plancher** : g (daN/m²)

Épaisseur totale du plancher d en cm		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
COFRASTRA 40	Consommation	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
	Poids propre	185	209	232	256	280	304	328	352	376	400	424	448	470
COFRASTRA 70	Consommation				84	94	104	114	124	134	144	154	164	174
	Poids propre				220	244	268	292	316	340	364	388	412	436

DOC. PAB

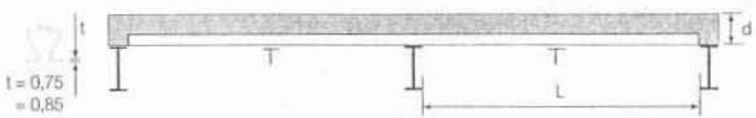
PROFILS COFRASTA (suite)

■ CHARGE D'EXPLOITATION ADMISSIBLE COFRASTA 40

(gl + q) en daN/m²

flèche active $\leq \frac{L}{350}$

Pose filante avec étai



Épaisseur totale du plancher : d (en cm)

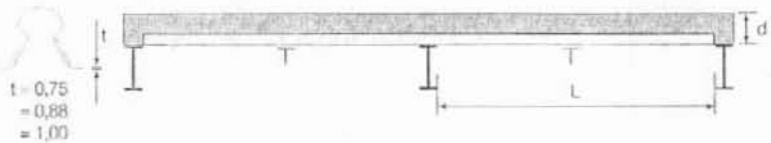
Lm	pour t = 0,75 mm									pour t = 0,85 mm								
	8	9	10	12	14	15	16	18	20	8	9	10	12	14	15	16	18	20
2,40	953	1269	1629	2239	2663	2875	3089	3518	3949	953	1269	1629	2378	2827	3053	3279	3734	4192
3,00	610	812	1042	1560	1857	2007	2156	2458	2760	610	812	1042	1596	1961	2119	2277	2595	2914
3,30	501	671	861	1319	1594	1723	1852	2111	2374	504	671	861	1319	1679	1815	1951	2224	2498
3,60	356	520	719	1108	1387	1499	1612	1841	2069	392	564	724	1108	1458	1576	1695	1933	2172
3,90	**1 étai**	382	535	926	1223	1323	1422	1622	1824	282	418	584	944	1281	1384	1489	1702	1913
4,20			403	711	1069	1176	1265	1443	1622		309	439	775	1135	1231	1324	1563	1699
4,50			304	550	872	986	1077	1261	1448	**1 étai**		331	600	955	1102	1185	1401	1575
4,80				426	690	830	908	1064	1223				470	756	926	1043	1265	1422
5,10			**2 étais**		549	677	767	901	1041				367	603	742	887	1130	1292
5,40					439	545	649	768	885			**2 étais**		482	598	727	970	1116
5,70						442	540	653	753					387	484	592	835	967
6,00				**3 étais**		358	441	554	640						392	484	725	836
6,30						290	361	468	543				**3 étais**		320	398	625	722

■ CHARGE D'EXPLOITATION ADMISSIBLE COFRASTA 70

(gl + q) en daN/m²

flèche active $\leq \frac{L}{350}$

Pose filante avec étai : 2 travées en service.



Épaisseur totale du plancher : d (en cm)

Lm	pour t = 0,75 mm									pour t = 1 mm								
	11	12	13	15	17	19	21	23	25	11	12	13	15	17	19	21	23	25
2,40	1608	1984	2275	2699	3115	3533	3953	4329	4637	1608	1984	2404	3300	3805	4313	4822	5334	5847
3,00	1029	1177	1289	1500	1684	1832	1941	2007	3097	1029	1270	1538	2163	2531	2844	3122	3363	3562
3,30	826	905	980	1113	1214	1276	2158	2390	2624	850	1049	1271	1693	1925	2126	2200	2412	3175
3,60	642	695	741	813	1455	1654	1854	2054	2255	714	882	1068	1309	1458	1572	2236	2476	2717
3,90	496	526	821	1035	1263	1437	1611	1786	1962	609	751	891	1005	1522	1728	1936	2145	2354
4,20	518	596	679	858	1049	1248	1415	1569	1723	525	648	785	1104	1331	1512	1694	1877	2061
4,50	428	495	564	715	876	1044	1217	1390	1527	457	564	584	961	1174	1334	1496	1658	1820
4,80		411	470	597	734	876	1024	1174	1327	402	496	601	845	1043	1187	1330	1475	1620
5,10			392	500	616	737	863	992	1122		439	532	731	898	1062	1191	1321	1451
5,40				417	516	620	728	838	950		367	459	624	768	920	1072	1189	1307
5,70	**1 étai**			347	431	520	612	707	816	**1 étai**		371	533	658	790	926	1066	1182
6,00					358	434	513	609	693				455	564	674	798	920	1044
6,30				**2 étais**		374	443	514	586					482	582	686	793	916

DOC. FAB

4.6 PLANCHERS BOIS

Ces planchers sont utilisés essentiellement en habitat individuel et en réhabilitation dans le cas des planchers à solives en bois, et en constructions industrielles également pour les planchers à solives mixtes. Ils sont constitués de solives supportant un plancher.

SOLIVES EN BOIS

Elles sont posées sur chant directement sur le mur ou les poutres principales. La portée maximum varie en fonction de la section, de l'essence du bois employée, des charges appliquées et de la flèche maximale autorisée (portée courante : 4 à 5 m). Leur espacement est fonction de la nature du plancher employé et des charges qu'il supporte (espacement moyen : 30 à 60 cm).

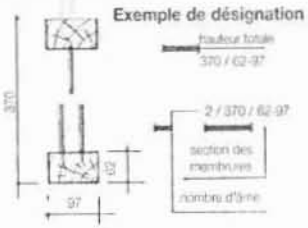
SOLIVES À ÂMES MÉTALLIQUES

• Type poutres Nail Web

Elles sont constituées de :

- deux membrures en bois résineux du Nord, catégorie II,
- une ou deux âmes métalliques en tôle mince (5/10) d'acier galvanisé. Ces tôles sont enfoncées de 20 mm à force dans le bois des membrures.

Exemple de désignation



Désignation	Moment quadratique cm⁴	Module d'inertie cm³	Moment max daN.cm*	T max daN	Poids daN/ml
220/36-72	4 539	408	38 760	335	3,2
240/46-72	6 478	535	50 825	412	3,9
270/62-72	10 049	739	70 205	506	4,9
290/46-72	10 138	694	65 930	517	4,2
270/62-97	13 538	995	94 525	506	6,3
290/46-97	13 658	935	88 825	517	5,2
320/62-72	15 231	946	89 870	626	5,2
340/46-97	19 704	1152	109 440	622	5,5
320/62-97	20 521	1274	121 030	626	6,6
370/62-97	28 981	1558	148 010	746	6,8
370/62-122	36 451	1958	186 010	746	8,2
370/62-148	44 219	2377	225 815	746	9,7
420/62-97	38 922	1844	175 180	866	7,1
420/62-122	48 954	2320	220 400	866	8,5
470/62-97	50 342	2133	202 635	986	7,5
420/62-148	59 386	2814	267 330	866	10,0
470/62-122	63 317	2682	254 790	986	8,9
470/62-148	76 810	3254	309 130	986	10,4

* avec σ_f = 95 daN/cm²

DOC. NAIL WEB

PLANCHER

Il est généralement constitué de dalles en panneaux de particules ou de parquet en bois.

• Type dalle plancher Rolidal

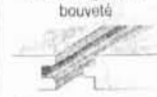
• Entraxes maximum

Entraxes maximum admissibles en cm en fonction des charges tolérées et de l'épaisseur des dalles planchers selon DTU 51.3.

Charge uniformément répartie en daN/m²	Épaisseur en mm			
	19	22	25	35
150	50	57	65	80
200	47	55	62	76
250	44	51	58	71
350	39	45	52	63
400	38	44	50	61
500	35	40	45	56

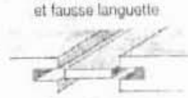
• Assemblage

Assemblage rainé bouveté



Bouveté longueur 7 mm

Assemblage rainuré et fausse languette



Section 5 × 30 mm

• Caractéristiques dimensionnelles

Désignation et milieu d'utilisation	Format hors tout en cm et type d'assemblage	Épaisseur en cm
Rolidal élite CTB-S Milieu sec exclusivement	179 × 84 204 × 91,5 rainé bouveté sur les 4 rives	19 22 25
Rolidal hydrélite CTB-H Milieu humide	179 × 84 204 × 91,5 rainé bouveté sur les 4 rives	(16) 19 22
Rolidal Roufisol CTB-H Milieu humide	204 × 91,5 rainé bouveté sur les 4 rives 270 × 90 rainuré 4 côtés assemblage par fausse languette	22 25 35
Rolidal Planox CTB-H Milieu très humide	183 × 89 rainuré 4 côtés assemblage par fausse languette	(16) 19 22
Rolidal Vulcain CTB-H Milieu humide et sécurité feu	270 × 91,5 rainé bouveté sur les 4 rives	18 22

DOC. ROL

DÉBIT DES BOIS

Désignation	Section : e (épaisseur en mm) l (largeur en mm)	Longueurs (mm)
Latte	5 < e < 12 et 26 < l < 55	
Liteau	18 × 35 à 30 × 40	
Voliges	e < 22	2 000 et plus par 300 mm
Planches	22 < e < 55	3 000 et plus par 300 mm
Chevrons	40 < e et l < 120	
Bastings	55 × 155 à 65 × 185	
Madriers	75 × 205 à 105 × 225	2 000 et plus par 300 mm

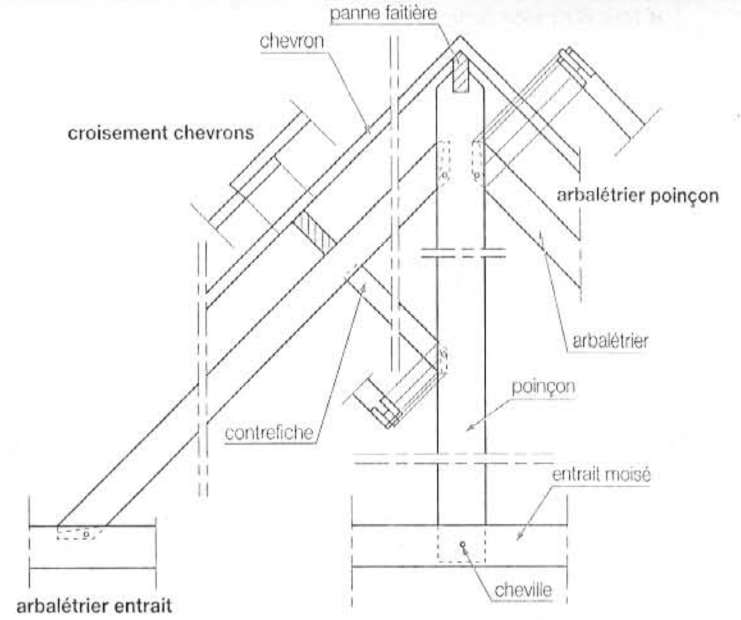
CHARGES ADMISSIBLES

Charges totales admissibles en N pour une déformation permanente de 1/300 de la portée

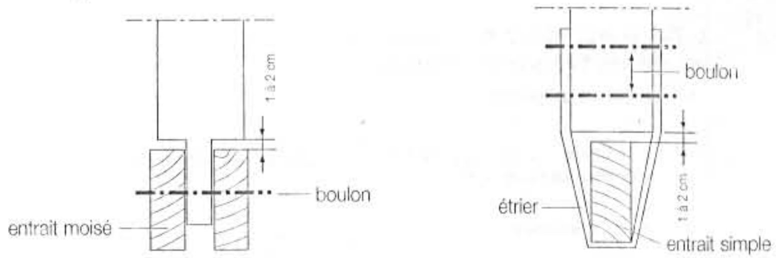
Section b.h (en mm)	Portées en m														
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00	7,00
27 × 27	190														
27 × 50	1070	480	270												
27 × 130					2130	1560	1200	770	530						
27 × 165							2390	1530	1060	780	600				
35 × 35	460	210	110												
35 × 50	1340	600	330	210											
35 × 130					2720	2000	1530	980	680	500					
35 × 165							3110	1990	1380	1020	780		500		
35 × 180							4070	2600	1810	1330	1020		650		
35 × 225								5080	3530	2590	1990		1270		
50 × 50		1060	590	380	260										
50 × 180							5860	3750	2600	1910	1470	1160	940		
50 × 225								7270	5050	3710	2840	2250	1820	1270	
50 × 300									11960	8790	6730	5320	4310	2990	2200
65 × 165							5860	3750	2600	1910	1470	1160	940		
65 × 180							7540	4820	3350	2460	1880	1490	1210		
75 × 75	1600	1110	810	620	400										
75 × 180								5590	3880	2850	2180	1730	1400		
75 × 225								10870	7550	5550	4250	3360	2720	1890	
75 × 330										17540	13430	10620	8600	5970	4390
100 × 150							6730	4310	2990	2200	1680				
100 × 250									13820	10160	7780	6140	4980	3460	
100 × 300									23920	17580	13460	10630	8610	5980	4390
150 × 250									20730	15230	11660	9220	7460	5180	
150 × 300										41870	32060	25330	20520	14250	10470

DOC. CSTB

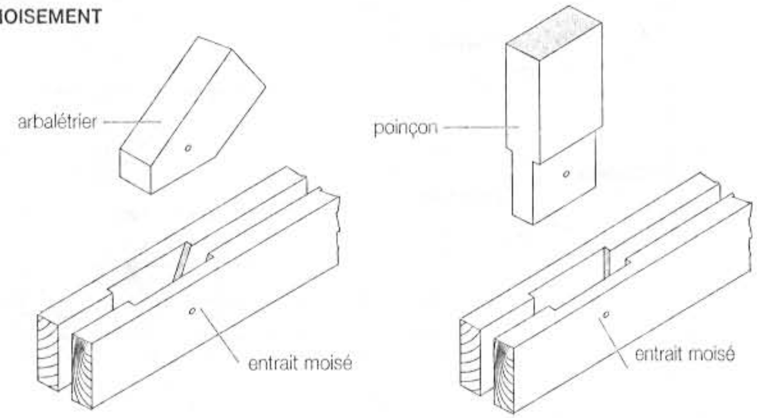
ASSEMBLAGES TRADITIONNELS



■ **POINÇON ENTRAIT**



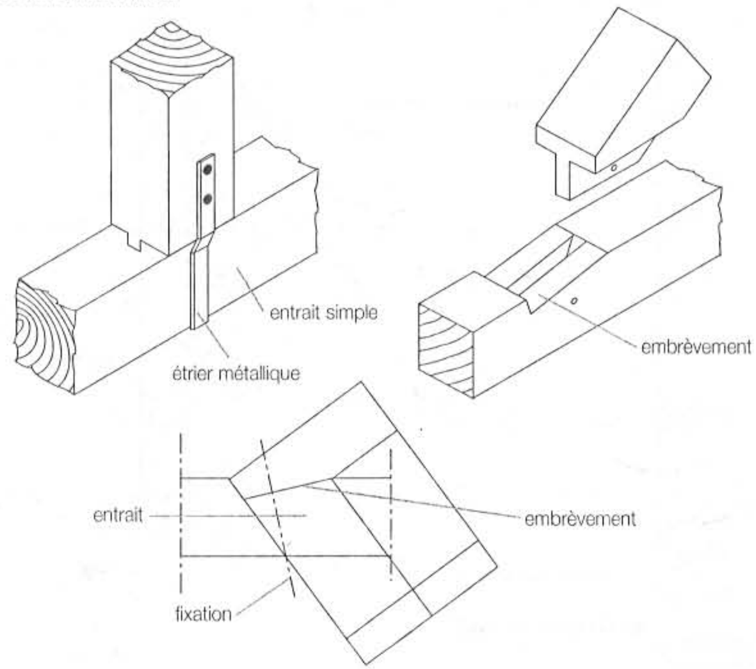
■ **MOISEMENT**



DOC. CSTB

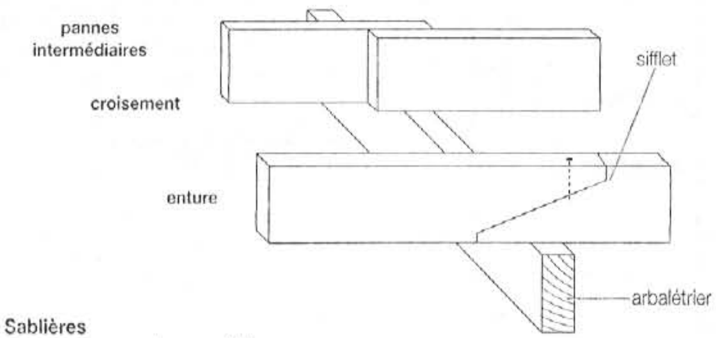
ASSEMBLAGES TRADITIONNELS (suite)

■ TENON ET MORTAISE

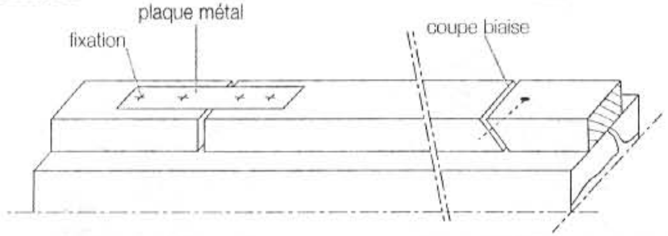


■ AUTRES TYPES D'ASSEMBLAGES

• Croisement de panne



• Sablières



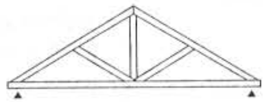
DOC. CSTB

5.2 CHARPENTES INDUSTRIALISÉES

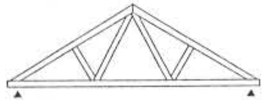
FERMES COURANTES

■ COMBLES PERDUS

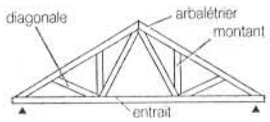
• Ferme E



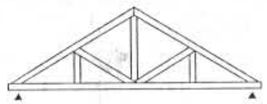
• Ferme W



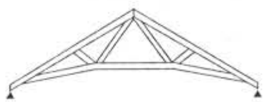
• Ferme éventail



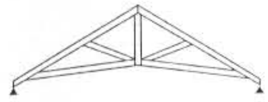
• Ferme M



• Ferme polonceau

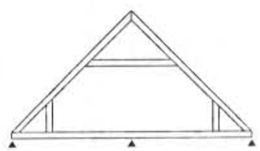


• Ferme ciseaux

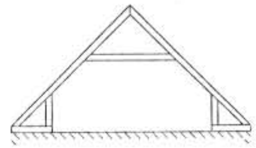


■ COMBLES HABITABLES (À ENTRAIT REHAUSSÉ)

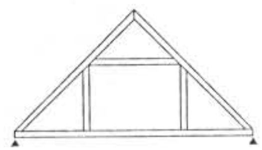
• Ferme A (entrait porteur sur 3 appuis)



• Ferme A sur dalle



• Ferme A (entrait porteur sur 2 appuis)

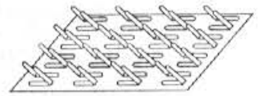


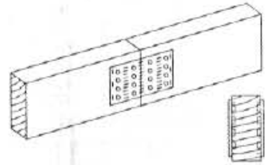
DOC. CSTB

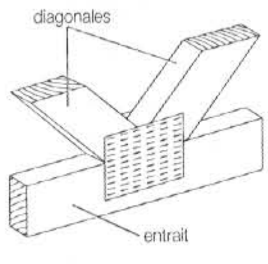
ASSEMBLAGES

■ PAR CONNECTEURS

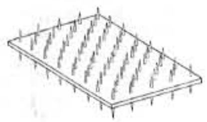
• Placés à l'extérieur

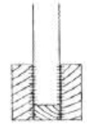


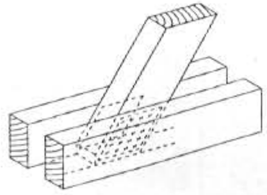




• Placés à l'intérieur





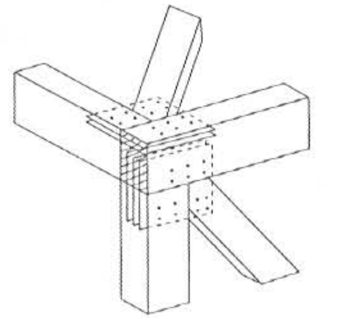


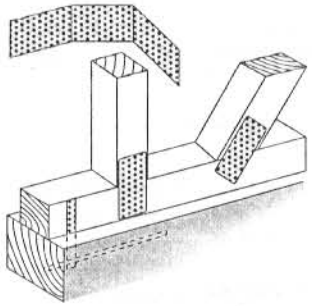
DOC. HYDRO-NAIL

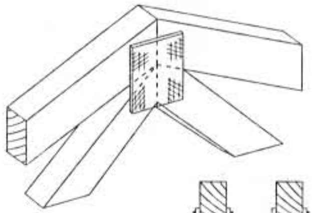
ASSEMBLAGES (suite)

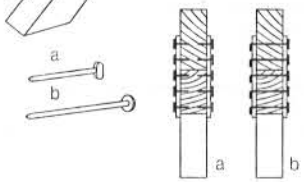
■ PAR CLOUAGE

• Plaques perforées permettant le passage des clous



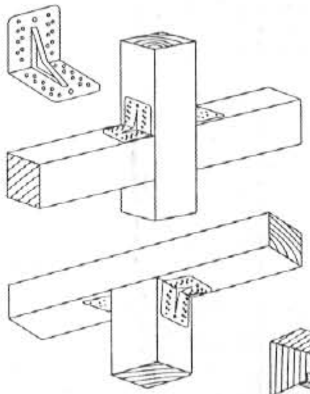


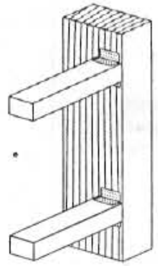




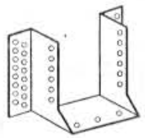
■ ÉQUERRES ET SABOTS

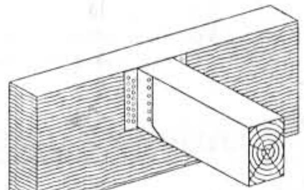
• Équerres





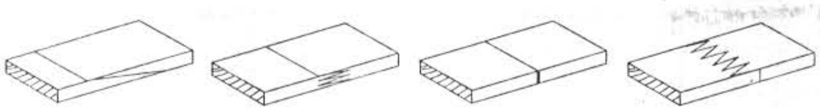
• Sabots





■ COLLES

• Colle synthétique résorcine ou urée pour assemblage des bois



DOC. HYDRO-NAIL

5.3 CHARPENTES EN BOIS LAMELLÉ COLLÉ

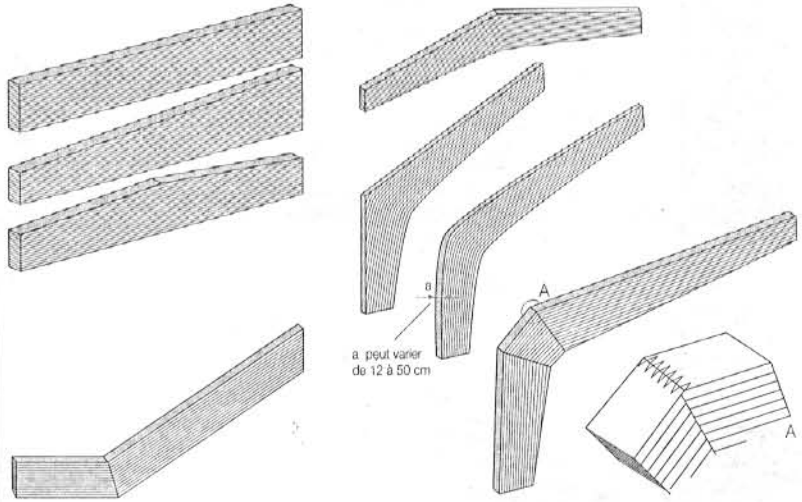
FERMES COURANTES

■ ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION

Le bois lamellé collé est constitué par des planches de faibles sections, de longueurs variables assemblées par enture dans le sens de la longueur, et collées à plat les unes aux autres.

Les portées peuvent varier de 15,00 m à 80,00 m. Les plus courants sont de 30,00 m à 60,00 m.

Les poutres peuvent être droites ou courbes à section constante ou variable dans le sens de la hauteur.

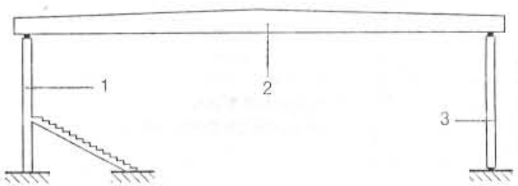


■ POUTRES

• **Brisées de section variable**

Portée courante : 35 m

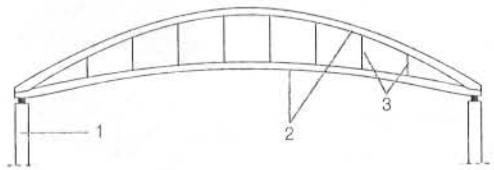
1. Portique bois, acier ou béton
2. Poutre en bois lamellé collé
3. Poteau bois, acier ou béton



• **Composées ou triangulées**

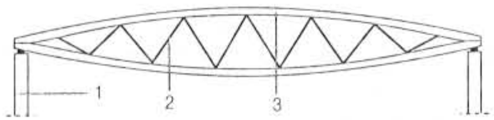
Portée moyenne : 35 m environ

1. Poteau béton
2. Poutre en bois lamellé-collé
3. Suspentes



Portée réalisée jusqu'à 80 m

1. Poteau béton
2. Triangulation
3. Membrures en bois lamellé-collé



DOC. SYNDICAT NATIONAL DES CONSTRUCTEURS DE CHARPENTES EN BOIS LAMELLÉ-COLLÉ

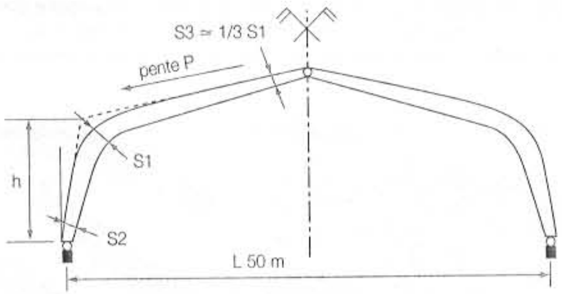
FERMES COURANTES (suite)

■ ARCS À TROIS ARTICULATIONS

Portée de 20 m à 50 m

Entraxe des arcs de 5 m à 10 m (dépendant de la nature des pannes)

h varie de 4 m à 7 m

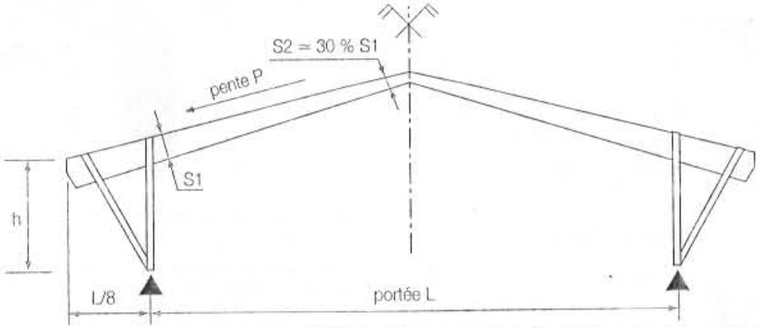


■ PORTIQUES À TROIS ARTICULATIONS

Portée de 15,00 m à 30,00 m

Entraxe de 5,00 m à 7,00 m

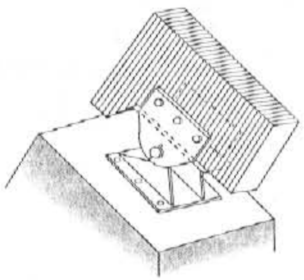
h varie de 4,00 m à 6,00 m



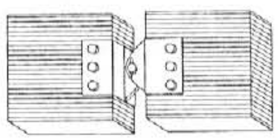
DOC. SNCC

ASSEMBLAGES

• **Articulation d'appui sur un socle en béton armé**



• **Liaison de faîte pour un arc à trois articulations**



Les liaisons entre les différentes parties de la charpente se font par l'intermédiaire de sabots métalliques fixés par des boulons ou des tirefonds.

DOC. SNCC

6 COUVERTURES (DTU 40)

6.1 COUVERTURES ET CLIMATOLOGIE

ZONES ET SITUATIONS D'APPLICATION

■ ZONES

La France est divisée en 3 zones d'application.

Zone I
- Tout l'intérieur du pays ainsi que la côte méditerranéenne.
- Altitudes inférieures à 200 m.

Zone II
- Côte Atlantique sur 20 km de profondeur, de Lorient à la frontière espagnole.
- Bande située entre 20 et 40 km de la côte, de Lorient à la frontière belge.
- Altitudes comprises entre 200 et 500 m.

Zone III
- Côtes de l'Atlantique, de la Manche et de la Mer du Nord sur une profondeur de 20 km, de Lorient à la frontière belge.
- Altitudes supérieures à 500 m.



■ SITUATIONS

À ces zones il convient de superposer les effets résultant de la situation locale, d'où, dans chaque zone, une subdivision en 3 types de situations.

Les situations correspondent à des surfaces localisées de très faible étendue par rapport aux zones.

• **Situation protégée**

Fond de cuvette entourée de collines sur tout son pourtour et protégé ainsi pour toutes les directions du vent.

Terrain bordé de collines sur une partie de son pourtour correspondant à la direction des vents les plus violents et protégé pour cette direction de vent.

• **Situation normale**

Plaine ou plateau pouvant présenter des dénivellations peu importantes, étendues ou non (vallonnements, ondulations).

• **Situation exposée**
- Au voisinage de la mer : le littoral sur une profondeur d'environ 5 km, le sommet des falaises, les îles ou presqu'îles étroites, les estuaires ou baies encaissées et profondément découpées dans les terres.
- À l'intérieur du pays : les vallées étroites ou le vent s'engouffre, les montagnes isolées et élevées et certains cols.

6.2 COUVERTURES EN ARDOISES (DTU 40-11 et 12)

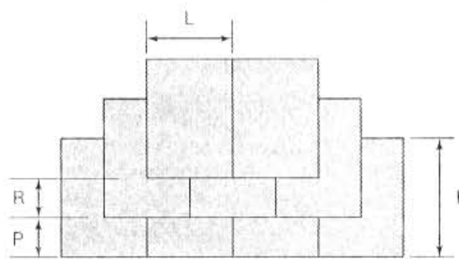
PUREAU

Le pureau (P) est la partie de l'ardoise visible sur le toit :

$$P = \frac{(H - R)}{2}$$

Dimensions de l'ardoise : H . L

R : recouvrement



SOURCE : CSTB

DIMENSIONS DES ARDOISES

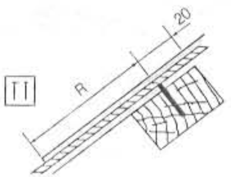
Dimensions des ardoises

Modèle	Dénomination	Dimensions H et L en mm	Masse au mille	Modèle	Dénomination	Dimensions H et L en mm	Masse au mille
Ordinaires	35 × 25	355 × 250	650	Anglais	n°2	608 × 355	2750
	Grand modèle	355 × 220	500		n°3	608 × 300	2320
	1[re] carrée fine	300 × 220	420		n°4	558 × 280	1940
	1[re] carrée forte	300 × 220	520		n°4 bis	558 × 300	2070
	2[e] carrée	300 × 200	400		n°5	508 × 250	1380
	Moyenne	270 × 180	340		46 × 30	460 × 300	1500
	Flamande n°1	270 × 160	300		n°6	460 × 250	1270
	Flamande n°2	270 × 150	290		n°7	405 × 200	810
	3[e] carrée n°1	250 × 180	300		n°8	355 × 200	700
	3[e] carrée n°2	250 × 150	260		n°9	355 × 180	610
	4[e] carrée	220 × 160	250		n°10	300 × 160	450
Carrés	36 × 36	355 × 355	1370		n°11	350 × 250	920
	33 × 33	325 × 325	1040		n°12	300 × 200	590
	30 × 30	300 × 300	890		n°13	405 × 250	1100
	25 × 25	250 × 250	610		n°14	460 × 230	1150

RECOUVREMENTS

POSE AU CLOU

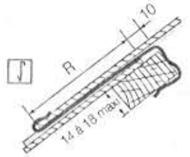
Pose à deux clous



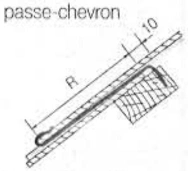
Projection horizontale du rampant *l* (m)									
pentes (%)	zone I (1)			zone II (1)			zone III (1)		
	l_1	l_2	l_3	l_1	l_2	l_3	l_1	l_2	l_3
20	153								
22,5	145								
25	133	153							
27,5	125	145		153					
30	120	134	153	150					
32,5	112	124	143	137	153				
35	106	116	133	128	146		153		
37,5	102	110	123	121	137	153	145		
40	96	106	116	116	129	135	137	153	
45	91	97	104	105	115	126	122	135	153
50	87	90	96	98	106	114	112	122	132
55	81	86	90	93	99	106	105	112	120
60	78	82	85	88	93	98	98	104	110
70	74	76	79	82	86	90	90	95	100
80	71	72	74	78	81	84	85	89	92
90	67	69	71	75	77	80	82	84	97
100	65	67	68	72	74	77	78	81	84
120	63	64	65	69	70	72	74	76	78
140	60	62	62	66	68	70	72	74	76
170	59	60	60	64	66	67	69	71	72
200	58	59	59	63	64	66	68	69	71
250	57	57	58	62	63	64	66	68	69
300	57	57	57	61	62	63	66	68	69
375	56	55	55	61	62	63	66	67	67
> 375	55	55	55	60	61	62	64	65	66

POSE AU CROCHET À POINTE OU À AGRAFE

Crochet à pression pour lattage



Crochet à pointe pour voligeage ou comme passe-chevron



Projection horizontale du rampant *l* (m)									
pentes (%)	zone I (1)			zone II (1)			zone III (1)		
	l_1	l_2	l_3	l_1	l_2	l_3	l_1	l_2	l_3
20	153								
22,5	147								
25	141	153							
27,5	136	147		153					
30	131	142	153	147					
32,5	126	136	147	141	153				
35	122	131	142	136	147		153		
37,5	118	127	137	132	142	153	147		
40	114	123	132	127	137	147	142	153	
45	107	115	124	119	128	138	133	143	153
50	102	109	117	113	121	130	126	134	142
55	97	103	111	107	115	123	119	127	135
60	92	99	106	103	109	117	113	121	128
70	86	92	98	94	101	107	104	110	117
80	80	86	91	88	94	100	97	103	108
90	76	81	87	84	89	94	92	98	102
100	73	78	83	80	85	91	88	93	97
120	69	73	78	75	80	85	82	87	91
140	65	70	74	72	77	81	79	83	87
170	62	67	71	69	73	77	75	80	84
200	61	65	69	67	71	75	73	77	81
250	59	63	67	65	69	73	71	75	79
300	58	62	66	63	68	72	70	74	78
375	58	61	65	62	67	71	69	73	76
> 375	58			60			65		

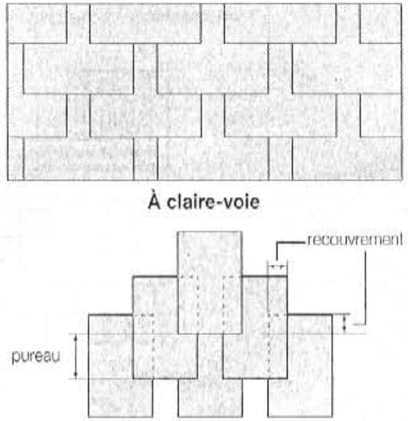
$l_1 = l \leq 5{,}50$ $l_2 = 5{,}50 < l \leq 11{,}00$ $l_3 = 11{,}00 < l \leq 16{,}50$

(1) Ces valeurs de recouvrements sont données pour des couvertures en site normal ou protégé.

DOC. CSTB

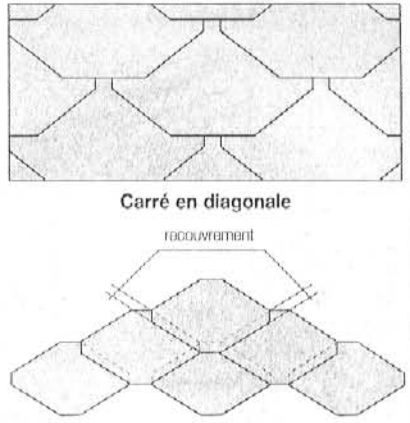
MODÈLES DE POSE

PUREAU ENTIER



À claire-voie

PUREAU DÉCOUPÉ



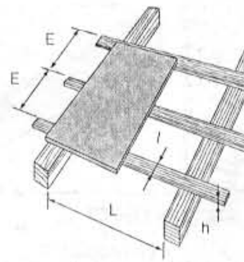
Carré en diagonale

SUPPORTS DE COUVERTURE EN ARDOISE

Les supports peuvent être constitués de liteaux ou de voliges.

- **Sections des liteaux**

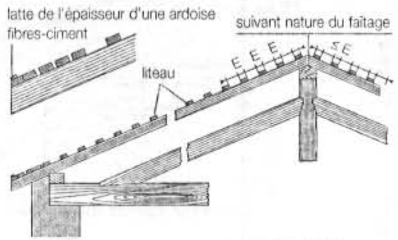
Leur section doit être calculée en tenant compte :
- des charges normales de neige,
- de l'écartement L entre chevrons ou fermettes,
- de l'entraxe E de pose des liteaux.



L : écartement maximal entre appuis
E : entraxe de pose des liteaux ou des voliges

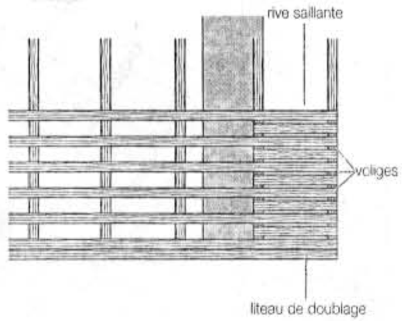
section h . l (mm)	Écartement L					
	E < 25 cm			E de 25 à 30 cm		
	Charge descendante normale daN/m² (2)			Charge descendante normale daN/m² (2)		
	100	150	200	100	150	200
12 × 40	35	35	35	35	35	35
14 × 40	35	35	35	35	35	35
18 × 25	35	35	35	35	35	35
15 × 38	35	35	35	35	35	35
14 × 50	40	40	40	35	35	35
15 × 50 (1)	46	46	46	35	35	35
18 × 40 (1)	53	53	53	35	35	35
25 × 25	60	60	60	35	35	35
18 × 50	65	60	55	35	35	35
18 × 75	80	70	65	49	49	49
25 × 50	90	90	85	60	60	60

(1) Ces sections sont utilisées régionalement sur des écartements entre appuis sensiblement supérieurs à ces valeurs. Il y a lieu de se référer dans ce cas à l'expérience acquise en fonction des conditions locales d'emploi.
(2) Charge de neige normale calculée suivant les règles N.V. en vigueur et compte non tenu du poids propre de la couverture et des bois supports.
La charge permanente est prise en compte dans l'établissement du tableau à concurrence de 33 daN/m².



- **Rives**

Les saillies de toit et les rives non fermées en sous-face sont voligées jointivement.

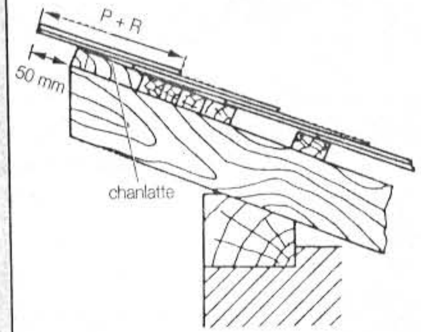


DOC. CSTB

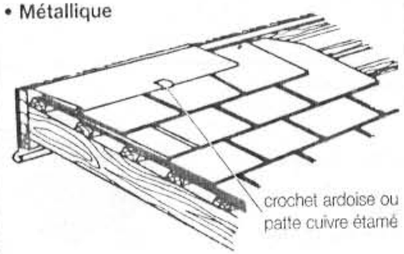
OUVRAGES PARTICULIERS

RIVES DE TÊTE

• En ardoise

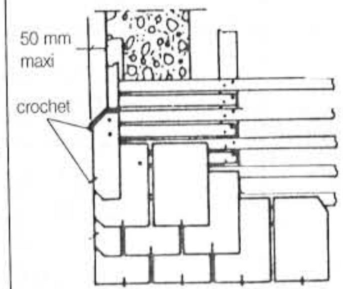


• Métallique

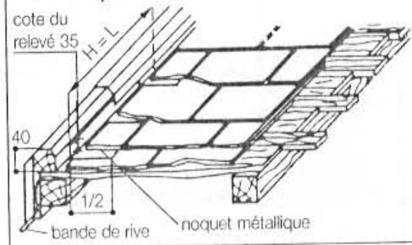


RIVES LATÉRALES

• En ardoise

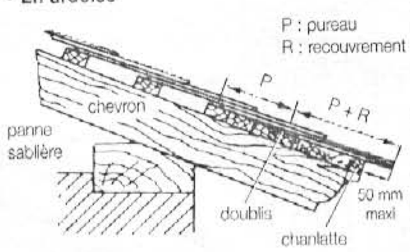


• Métallique

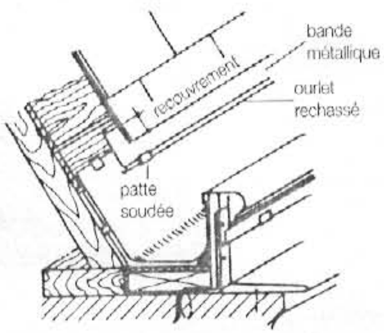


ÉGOUT

• En ardoise



• Avec bande métallique

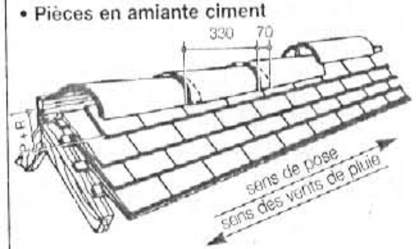


FAÎTAGE

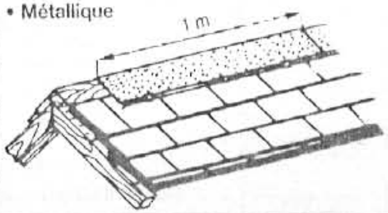
• À lignolet



• Pièces en amiante ciment



• Métallique

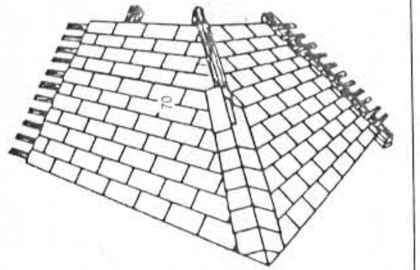


DOC. CSTB

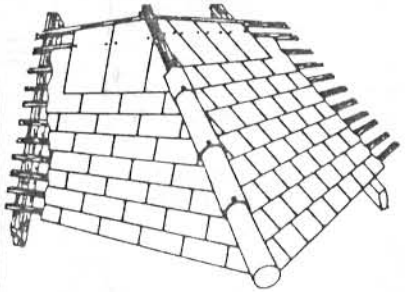
OUVRAGES PARTICULIERS (suite)

ARÊTIERS ET NOUES

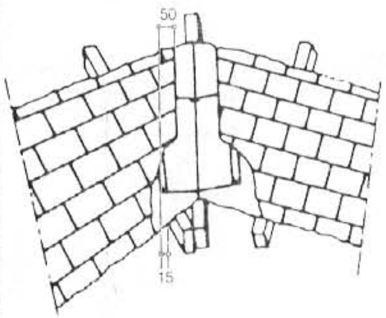
• Arêtiers en ardoises



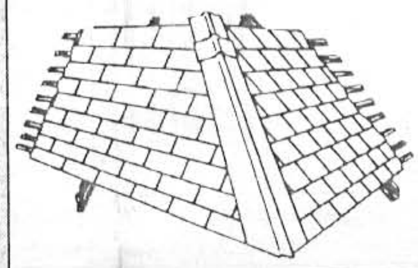
• Arêtiers en faîtières 1/2 rondes



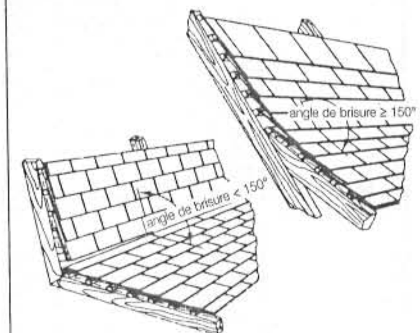
• Noues métalliques



• Arêtiers métalliques

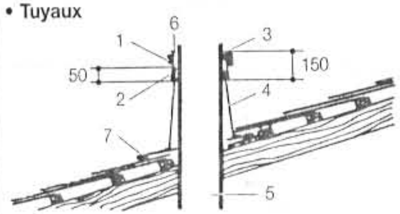


BRISURES



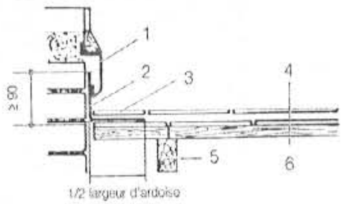
PÉNÉTRATIONS

• Tuyaux

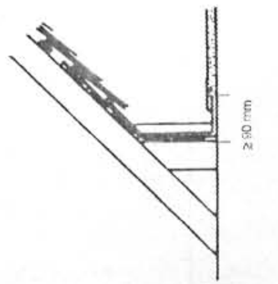


1. collier de serrage
2. collerette en plomb
3. bord rabattu pour protection du collier
4. douille
5. tuyau
6. mastic d'étanchéité
7. alaise

• Continues



1. bande de solin
2. noquet métallique
3. ardoise biaise
4. lattis
5. chevron
6. voligeage jointif



DOC. CSTB

6.3 COUVERTURES EN TUILES PLATES (DTU 40-23 et 40-25)

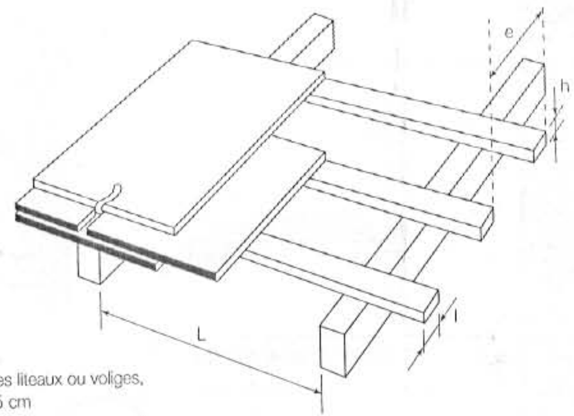
PENTES MINIMALES (en m / m)

Les tuiles plates existent en terre cuite (DTU 40-23), en béton (DTU 40-25) ou en fibre-ciment. La pose se fait sur liteaux ou voliges.

Situation du comble	Zone d'application		
	Zone I	Zone II	Zone III
Site protégé	0,80	0,80	0,90
Site normal	0,90	1,00	1,10
Site exposé	1,10	1,20	1,25

ÉCARTEMENT DES LITEAUX

L'écartement e des liteaux est égal au pureau.



e écartement des liteaux ou voliges, 8 cm < e ≤ 15 cm

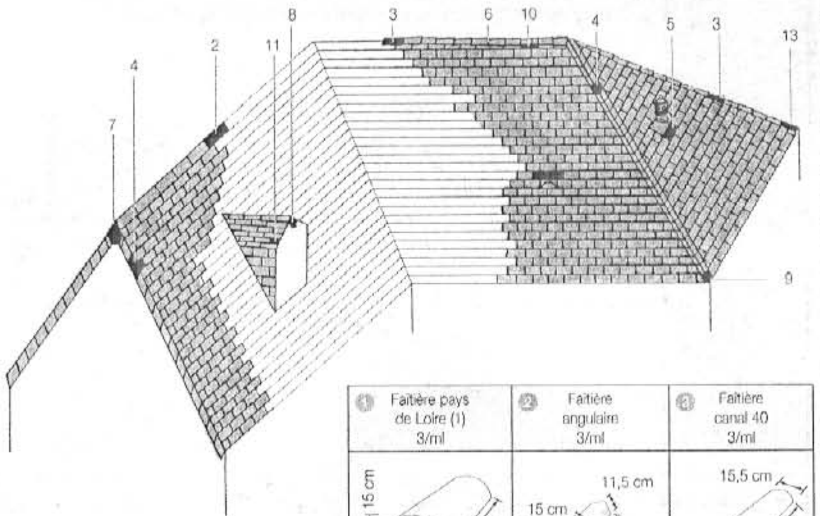
L distance maximale en (cm) admissible en fonction de la charge équivalente (1) répartie.

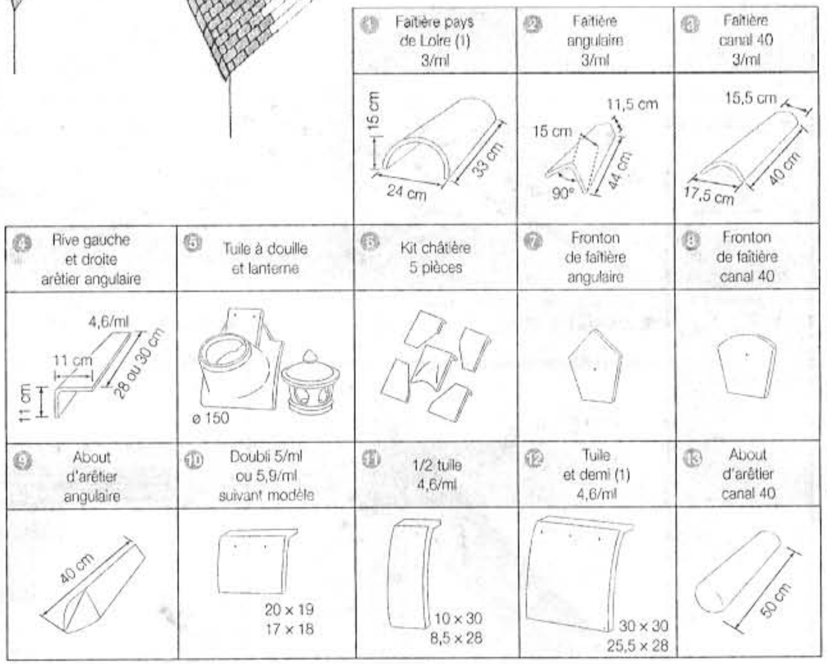
Section des liteaux ou voliges h . l (mm)	Charge équivalente (1) en daN/m²							
	75	100	125	150	175	200	225	250
12 × 37								
14 × 40								
18 × 25	35							
15 × 38								
14 × 50	40							
15 × 50	46							
22 × 25	49							
18 × 40	53							
25 × 25	60							
18 × 50	66							
15 × 75	69						67	65
25 × 32	77							
25 × 38	92						89	86
18 × 75	99		98	92	88	84	81	78
25 × 50	120		119	112	106	102	98	94
32 × 32	120				117	112	108	104
32 × 38	120					119	114	110
38 × 38	120							
38 × 50	120							
12 × 100	59							57
15 × 100	91		90	85	80	77	74	71
18 × 100	120	116	108	102	97	92	89	86
18 × 125	120		116	110	104	99	96	92
22 × 100	120				118	112	108	106
25 × 100	120							119

(1) La charge équivalente est égale à la charge permanente × 1,5 + la charge de la neige normale.

DOC. CSTB

ACCESSOIRES





DOC. GELIS

(1) Ne figure pas sur le schéma général.

POSE DES ACCESSOIRES

■ ÉGOUT

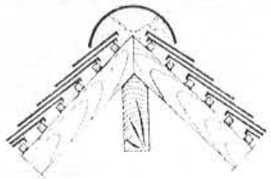


DTU

POSE DES ACCESSOIRES (suite)

■ FAÎTAGE

Tuile terre cuite 1/2 ronde ou angulaire ou canal



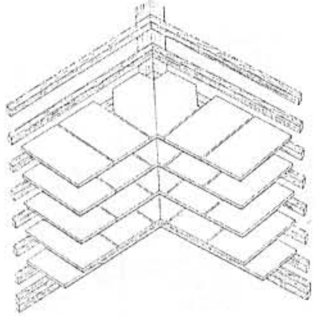
■ ARÊTIERS

Tuile en terre cuite

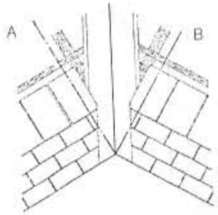


■ NOUES

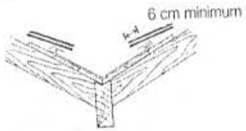
• Double tranchis des tuiles



• Pièces métalliques

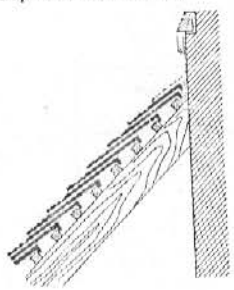


Coupe AB

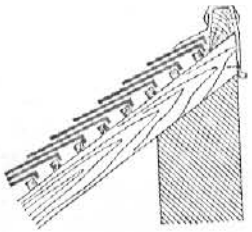


■ RIVES DE TÊTE

• Avec dépassement du mur

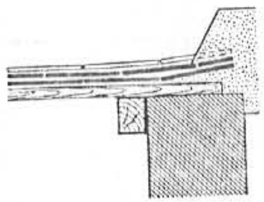


• Sans dépassement du mur

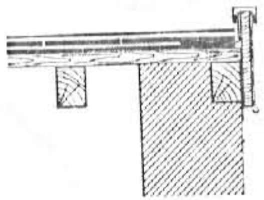


■ RIVES LATÉRALES

• Solin mortier



• Planche de rive + bande métallique

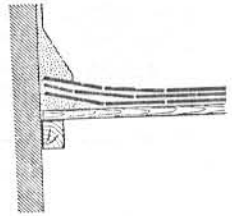


DTU

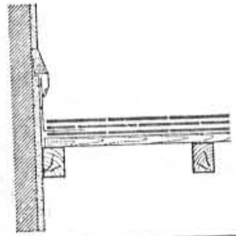
POSE DES ACCESSOIRES (suite)

■ PÉNÉTRATIONS

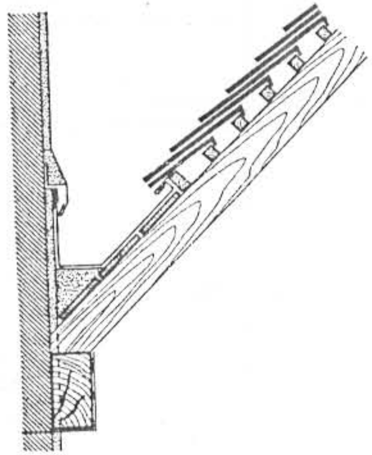
• Solin mortier



• Noquets métalliques



• Chéneau avec bande métallique et solin mortier

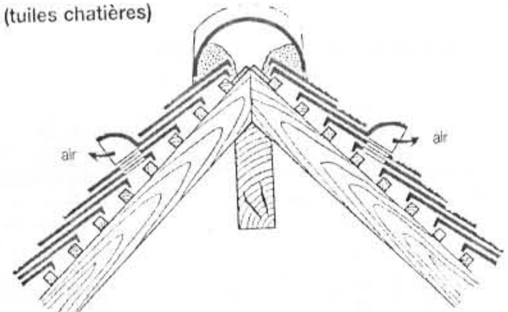


DOC. DTU

VENTILATION DES TUILES

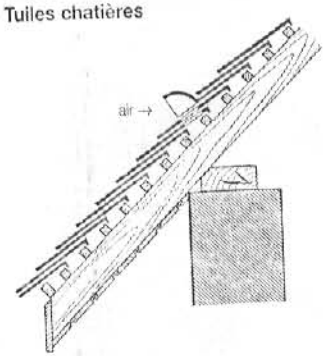
■ ÉVACUATION EN PARTIE HAUTE

• Tuiles spéciales (tuiles chatières)

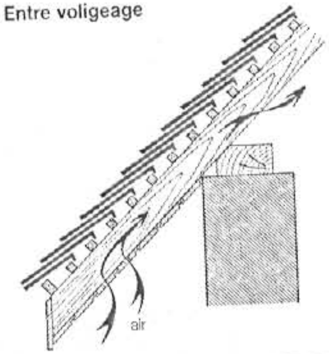


■ ENTRÉE D'AIR EN PARTIE BASSE

• Tuiles chatières



• Entre voligeage



DTU

6.4 COUVERTURES EN TUILES À EMBOÎTEMENT (DTU 40-21)

Les tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement sont aptes à couvrir tous les types de bâtiment, quelle que soit leur destination. Elles doivent répondre aux spécifications de la norme NF P 31-301 (DTU 40-21 "en terre cuite").

La pose se fait sur liteaux. Il existe principalement 2 familles de formats de tuiles : les tuiles « grand moule » (environ 10 à 15 au m²) et les tuiles « petit moule » (environ 21 au m²).

PENTES MINIMALES (en m/m)

Type de tuile	Situation	Zones d'application		
		Zone I	Zone II	Zone III
Grand moule	Protégée	0,35	0,35	0,50
	Normale	0,40	0,50	0,60
	Exposée	0,60	0,70	0,80
Petit moule	Protégée	0,40	0,50	0,60
	Normale	0,50	0,60	0,70
	Exposée	0,70	0,80	0,90

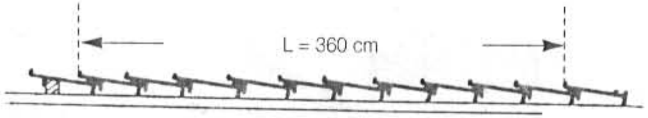
SECTION DES LITEAUX

Dimension de la section (h = l) (1) en m/m	Entraxe maximal des appuis en mètres suivant la charge exprimée en daN/m²		
	100	150	200
18 × 25	0,40	0,35	0,30
22 × 25	0,45	0,43	0,40
25 × 25	0,55	0,50	0,45
25 × 32	0,60	0,54	0,50
25 × 38	0,64	0,57	0,52
25 × 50	0,70	0,60	0,55
32 × 32	0,79	0,70	0,65
32 × 38	0,83	0,74	0,68
38 × 38	1,00	0,89	0,82
38 × 50	1,10	0,98	0,90

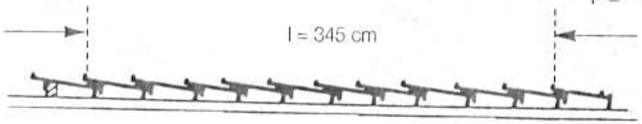
(1) h = hauteur du liteau
l = largeur du liteau

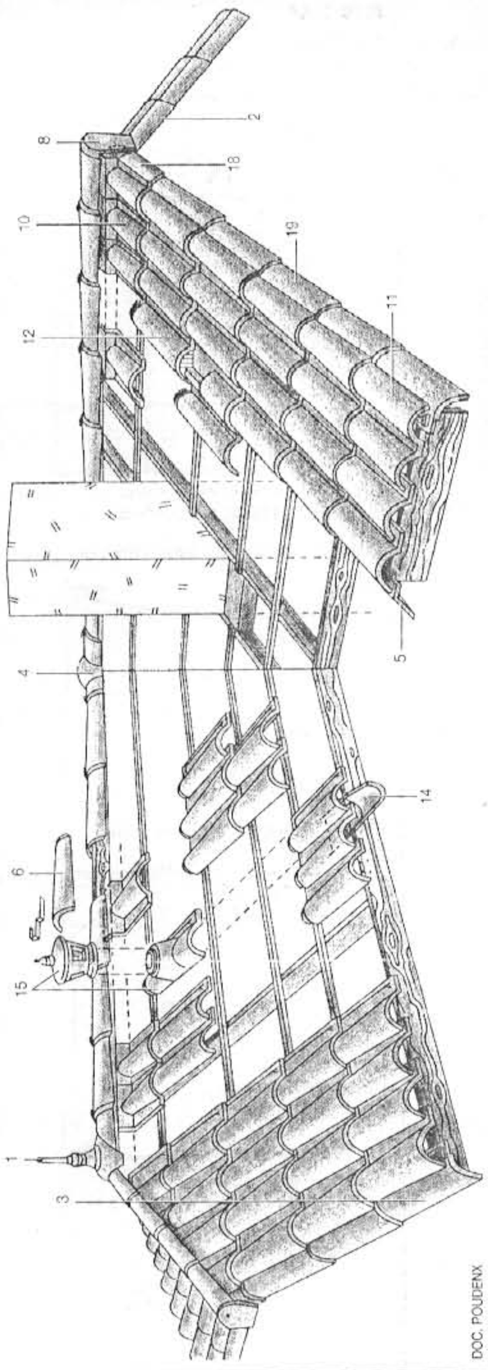
ÉCARTEMENT DES LITEAUX

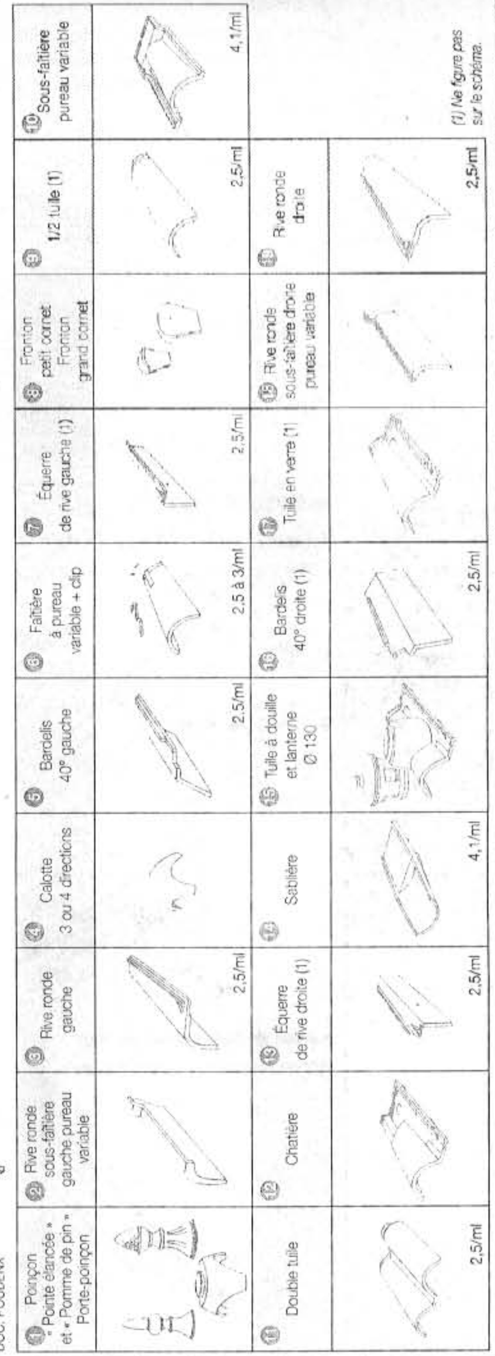
L'écartement correspond au pureau indiqué à titre approximatif par le fabricant.
Prendre 11 tuiles au hasard, les poser à l'envers, relever la dimension maxi en tirant les tuiles puis la dimension mini en les serrant.



$$P = \frac{360 + 345}{2 \times 10} = 35,25 \text{ cm}$$



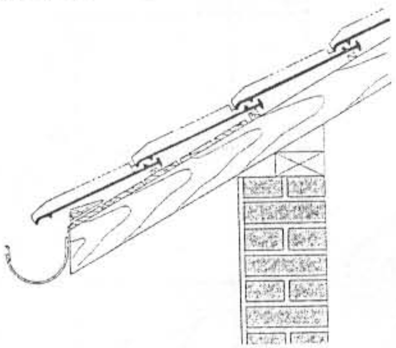




OUVRAGES PARTICULIERS

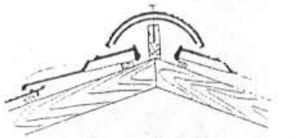
■ ÉGOUT

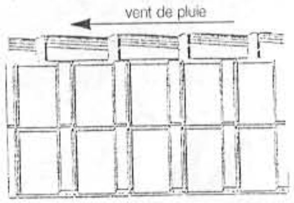
Pose de la première rangée sur chanlatte en partie basse (pièce de bois égale à l'épaisseur d'un liteau courant augmentée de l'épaisseur de la tuile).



■ FAÎTAGE

Tuiles faîtières en terre cuite.
Fixation : – au mortier,
– par clouage,
– par crochets spéciaux.

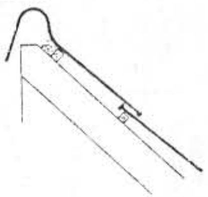




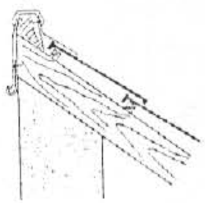
■ RIVES DE TÊTE

Sans dépassement du mur

Faîtière terre cuite

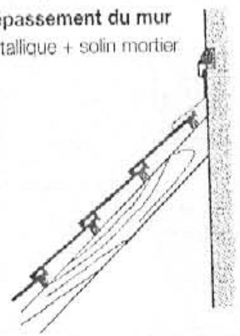


Garniture métallique



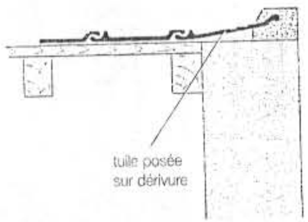
• **Avec dépassement du mur**

Bande métallique + solin mortier

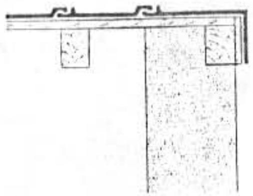


■ RIVES LATÉRALES

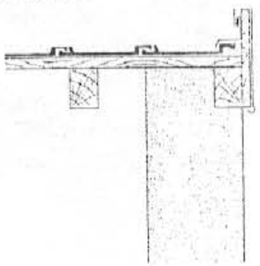
• **Ruellée maçonnée avec dérivure**



• **Tuiles spéciales en terre cuite**



• **Bande métallique**



DOC. DTU

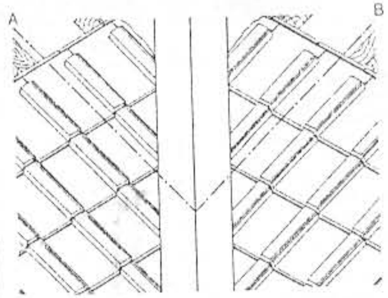
OUVRAGES PARTICULIERS (suite)

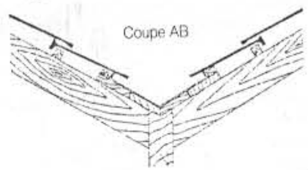
■ ARÊTIERS

Sur la ligne d'arêtier, les tuiles sont tranchées biaises et recouvertes de tuiles en terre cuite (arêtiers) scellées au mortier.

■ NOUES

Revêtement métallique posé sur voligeage avec un relevé contre une fourrure en bois.

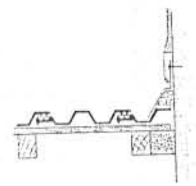




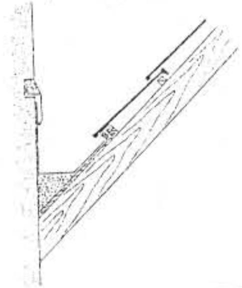
■ PÉNÉTRATIONS CONTINUES

Suivant la ligne de plus grande pente de la couverture.

Les tuiles sont tranchées et recouvertes d'une garniture métallique et d'une bande de solin.

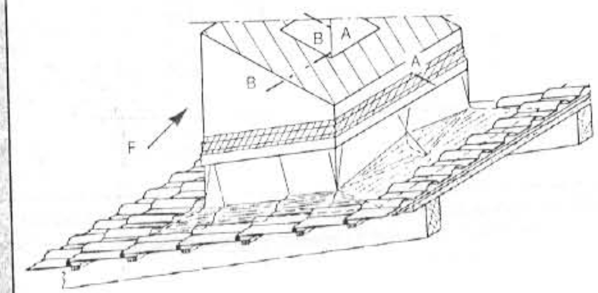


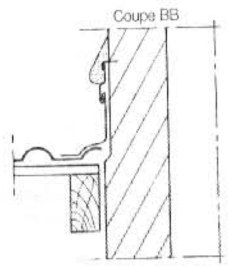
Perpendiculaire à la ligne de plus grande pente de la couverture (chéneau).

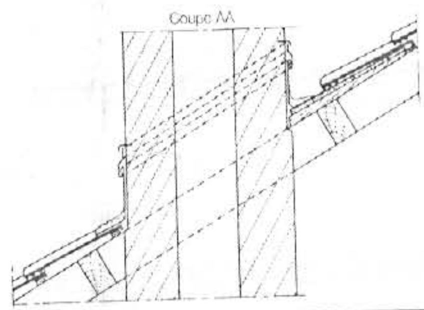


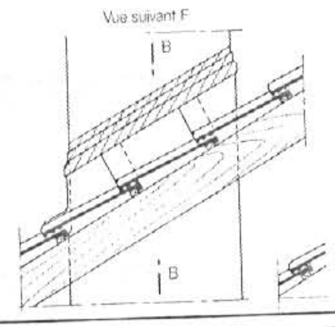
■ PÉNÉTRATIONS DISCONTINUES

Ouvrages isolés à l'intérieur de la surface de la couverture (souches, lanterneaux, cages d'ascenseur).







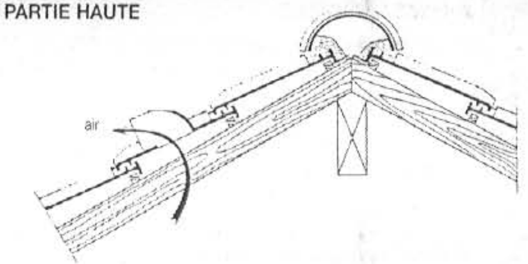


DTU

VENTILATION DES TUILES

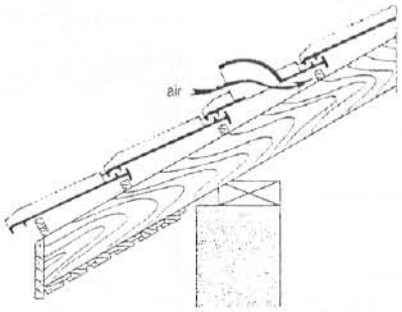
■ **ÉVACUATION EN PARTIE HAUTE**

• **Tuiles spéciales**
(tuiles chatières)

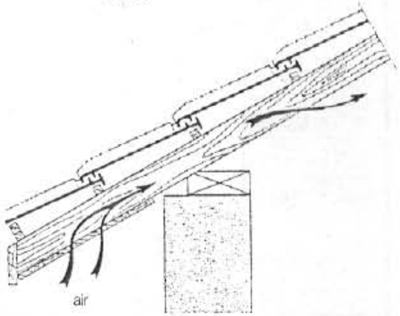


■ **ENTRÉE D'AIR EN PARTIE BASSE**

• **Tuiles chatières**



• **Entre voligeage**



DTU

6.5 COUVERTURES EN TUILES « CANAL » (DTU 40-22)

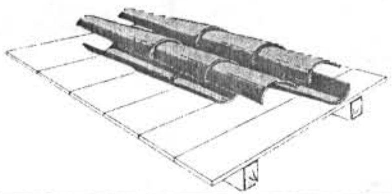
CARACTÉRISTIQUES ET NORMES

C'est un produit dérivé des tuiles romaines. L'aspect est celui de gouttière d'allure tronconique. Les tuiles de courant, placées concavité vers le haut, peuvent ne pas être identiques aux tuiles de couvert, placées concavité vers le bas, et peuvent comporter un (ou des) tenon(s).

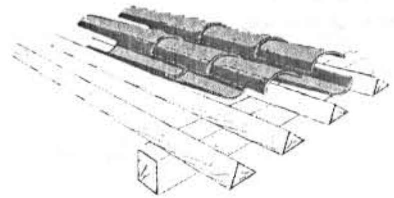
Les caractéristiques dimensionnelles varient selon les modèles (longueur de 25 à 60 cm, soit 20 à 40 au m²). Elles répondent aux spécifications de la norme NF P 31.305 (DTU 40.22).

SUPPORTS

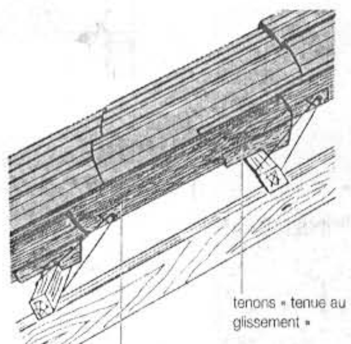
■ **POSE SUR VOLIGE**



■ **POSE SUR CHEVRONS TRIANGULAIRES**



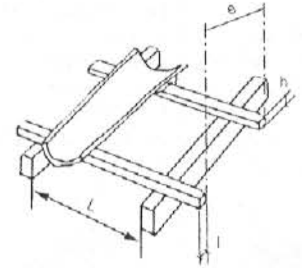
■ **POSE SUR LITEAUX**
(tuiles « canal » à tenons)



DOC. CSTB

ÉCARTEMENT DES LITEAUX

• **Cas des tuiles canal à tenons**



e écartement des liteaux ou voliges, 25 cm < e ≤ 40 cm.

L distance maximale en (cm) admissible en fonction de la charge équivalente (1) répartie.

(1) La charge équivalente est égale à la charge permanente × 1,5 + la charge de neige normale.

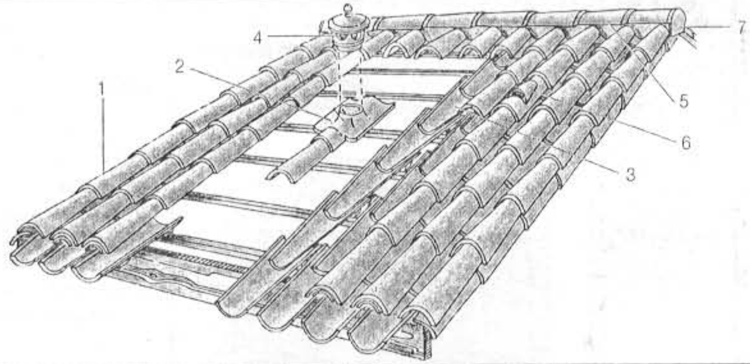
Section des liteaux ou voliges h . l (mm)	Charge équivalente (1) en daN/m² : 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250
14 × 40	35
18 × 25	
15 × 38	
14 × 50	
15 × 50	
22 × 25	
18 × 40	
25 × 25	
18 × 50	
15 × 75	
25 × 32	39
25 × 38	46
18 × 75	49
25 × 50	60
32 × 32	
32 × 38	71
37 × 37	90
38 × 38	
38 × 50	
47 ×	

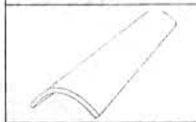
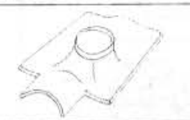
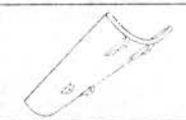
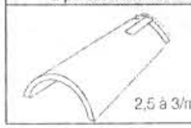
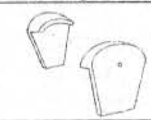
DOC. CSTB

PENTES ET RECOUVREMENTS

Situation	Zones d'application					
	Zone I		Zone II		Zone III	
	Pente (m/m)	Recouvrement (cm)	Pente (m/m)	Recouvrement (cm)	Pente (m/m)	Recouvrement (cm)
Protégée	0,24	14	0,27	15	0,30	15
Normale	0,27	15	0,30	16	0,33	16
Exposée	0,30	16	0,33	17	0,35	17

ACCESSOIRES



① Tuile canal	② Tuile à douille Ø 130	③ Tuile canal à tenons	④ Lanterne Ø 130
			
⑤ Tuile faîtière à pureau variable	⑥ Chatière	⑦ Fronton petit cornet Fronton grand cornet	
 2,5 à 3/ml			

DOC. GELIS

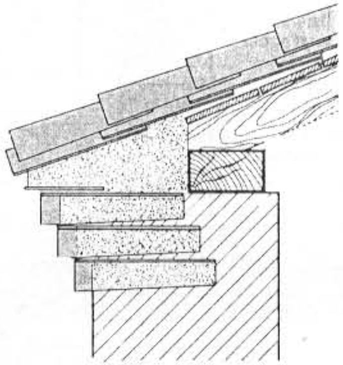
OUVRAGES PARTICULIERS

■ ÉGOUT

Égout droit

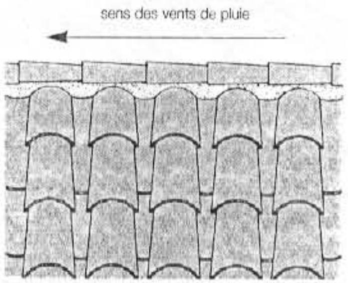
Le premier rang de tuiles de courant est fixé au mortier pour éviter le basculement. Dans le cas de la pose à sec on a recours à des cales soit en bois, soit 1/4 de tuile canal.

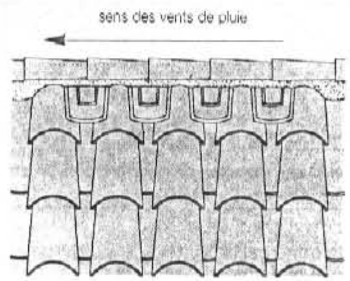
Le premier rang est soutenu par une corniche – dite génoise – réalisée par 1 à 4 rangs de tuiles canal maçonnées.



■ FAÎTAGE

La ligne de faîtage est recouverte soit avec des tuiles de même modèle que celle de la couverture, soit avec des tuiles de plus grande longueur.



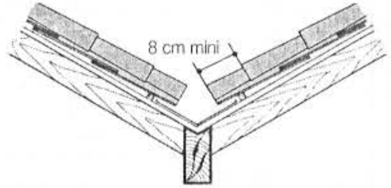


■ ARÊTIERS

Les tuiles des versants sont tranchées biaises et la ligne d'arêtier est recouverte comme la ligne de faîtage.

■ NOUES

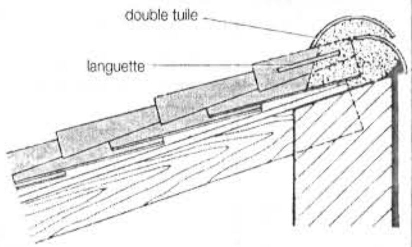
Elle est constituée d'un revêtement métallique posé sur voligeage.



■ RIVES DE TÊTE

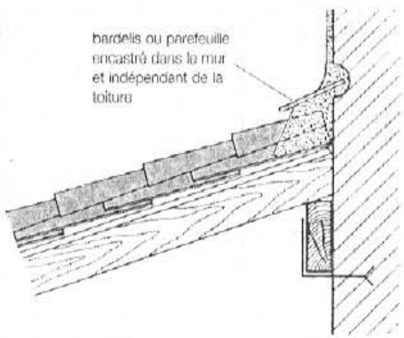
• **Sans dépassement du mur**

Le dernier rang est recouvert de tuiles du même modèle ou plus grand, scellées au mortier.



• **Avec dépassement du mur**

Le dernier rang est recouvert soit :
- par un garnissage au mortier, protégé par une bande métallique et une bande solin,
- par un bardélis et une bande solin,
- par un solin mortier.

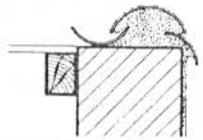


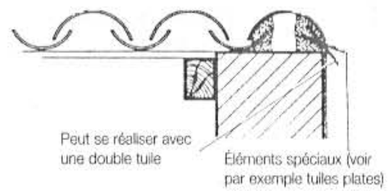
DTU

OUVRAGES PARTICULIERS (suite)

■ RIVES LATÉRALES

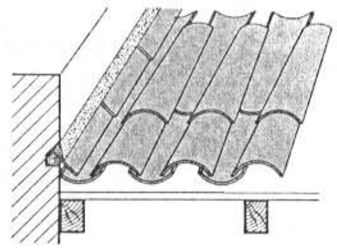
La dernière travée de tuiles de courant ou de tuiles de dessus est scellée au mortier.



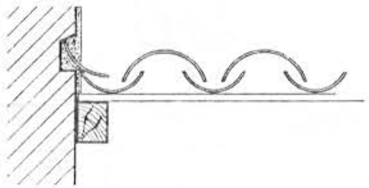


■ PÉNÉTRATIONS CONTINUES

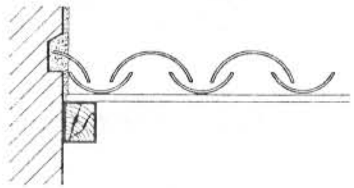
On exécute un solin mortier, un bardélis en tuile plate ou tuile canal, ou une bande métallique.



• **Tuiles canal scellées formant saillie**

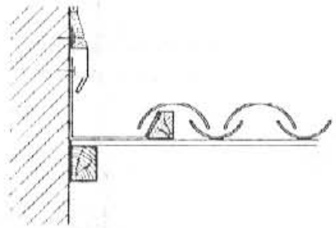


• **Tuiles canal scellées se recouvrant**

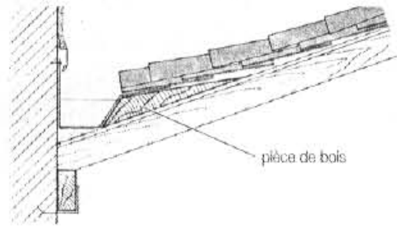


• **Bande métallique**

La pénétration est parallèle à la ligne de plus grande pente.

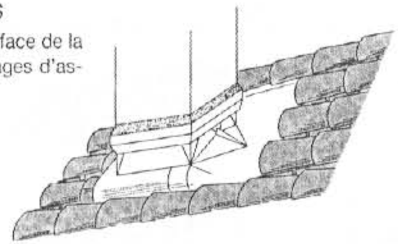


La pénétration est perpendiculaire à la ligne de plus grande pente. Chéneau contre un mur.



■ PÉNÉTRATIONS DISCONTINUES

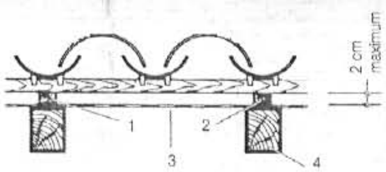
Ouvrages isolés à l'intérieur de la surface de la couverture (souches, lanterneaux, cages d'ascenseur)



PROTECTION CONTRE LA NEIGE POUDREUSE

Dans le cas d'une pose sur liteau, on interpose un écran souple en prévoyant une circulation d'air entre l'écran et la sous-face des tuiles.

1. liteau
2. contrelatte
3. écran
4. chevrons



DOC. CSTB

6.6 COUVERTURES EN BARDEAUX BITUMÉS (DTU 40-14)

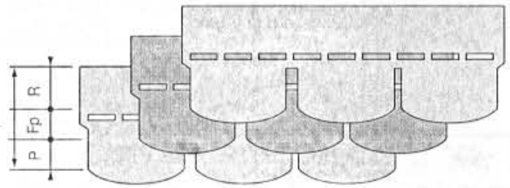
SUPPORT DE COUVERTURE

Les bardeaux bitumés doivent répondre aux spécifications de la norme NF P 39-302 (DTU 40.14).

	Épaisseur mini (mm)	Largeur mini (mm)	Longueur maxi (mm)
Bois massif			
– Voliges et frises	18	150	
– Planches	22	200	
– Lames à parquet	23	200	
Contreplaqué (CTBX)	10	1550	3150
Panneaux de particules	18	1000	2050 à 2750 pour CTBH de 25

PENTES ET RECOUVREMENTS

R = recouvrement
P = pureau
Fp = faux pureau
I = largeur totale utile du bardeau



Recouvrement R (mm) des bardeaux

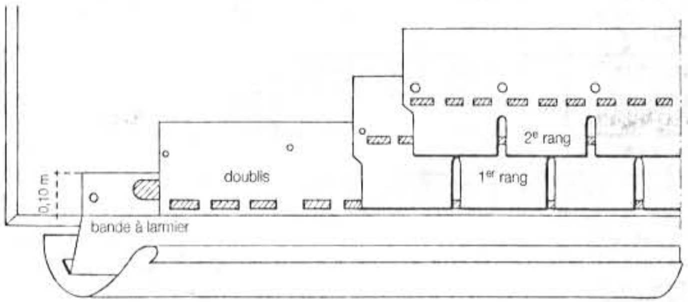
La fixation des bardeaux bitumés est faite par clouage au support et par collage entre éléments.

Pente de la couverture p (%)	Zones I et II			Zone III		
	Projection horizontale du rampant *l* (m)			Projection horizontale du rampant *l* (m)		
	$l \leq 5,5$	$5,5 < l \leq 11$	$11 < l \leq 16,5$	$l \leq 5,5$	$5,5 < l \leq 11$	$11 < l \leq 16,5$
$20 \leq p \leq 25$	120	120		120		
$25 \leq p \leq 30$	100	120	120	120	120	120
$30 \leq p \leq 35$	70	80	100	80	100	120
$35 \leq p \leq 40$	50	50	70	50	70	80
$p > 40$	50	50	50	50	50	50

OUVRAGES PARTICULIERS

■ ÉGOUT

Bande métallique à larmier avec R mini = 50 mm, clouée tous les 0,10 m

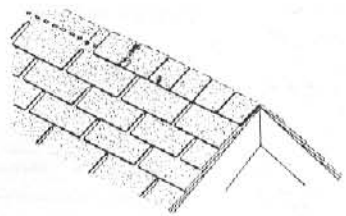


DOC. CSTB

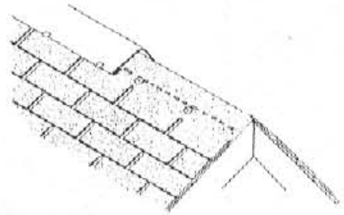
OUVRAGES PARTICULIERS (suite)

■ FAÎTAGES ET ARÊTIERS

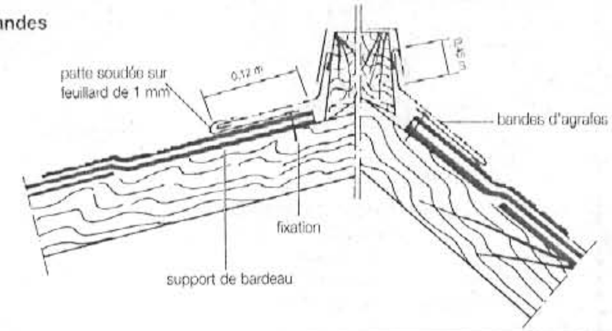
• Faîtage en bardeau recouvert dans le sens opposé du vent avec R mini = 50 mm



• Avec bande métallique maintenue par une bande d'agrafes ou des pattes



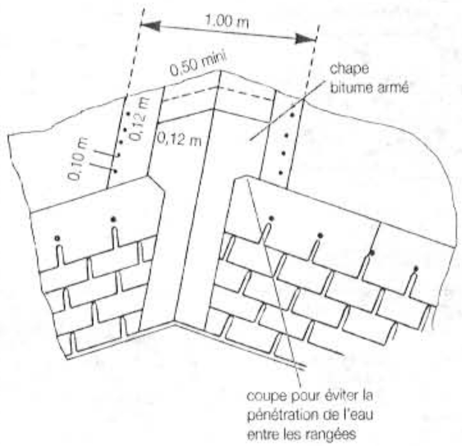
• À 3 bandes



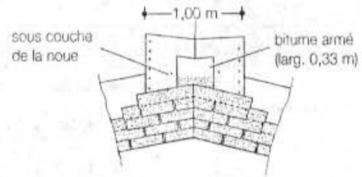
■ NOUES

• Avec revêtement d'étanchéité

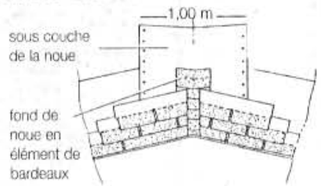
Sous couche en bitume armé ou feuille bitumineuse + chape de bitume épaisseur 3,5 mm. Les bardeaux sont tranchés biais.



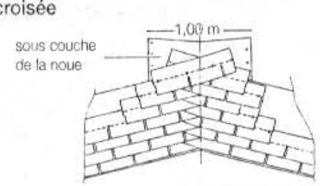
• En bardeaux bitumés



à double tranchis



croisée

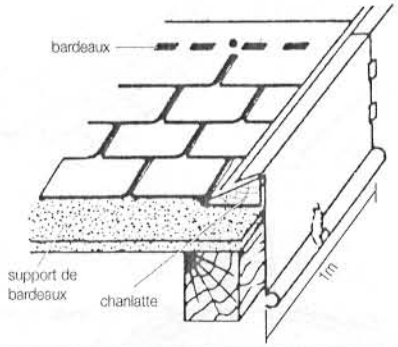


DTU

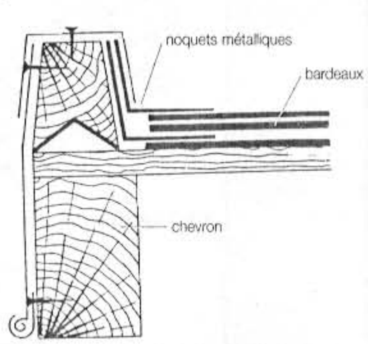
OUVRAGES PARTICULIERS (suite)

RIVES LATÉRALES DROITES

- **Avec bandes métalliques sur chanlatte**



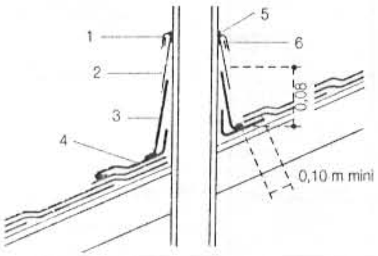
- **Avec bandes métalliques sur tasseau ou planche de rive**



PÉNÉTRATIONS

Souche de cheminée, conduit de ventilation

1. collier
2. manchette
3. collerette soudée sur l'alaise
4. alaise
5. mastic
6. bord rabattu



DTU

6.7 COUVERTURE EN PLAQUES (DTU 40-31 à 40-36)

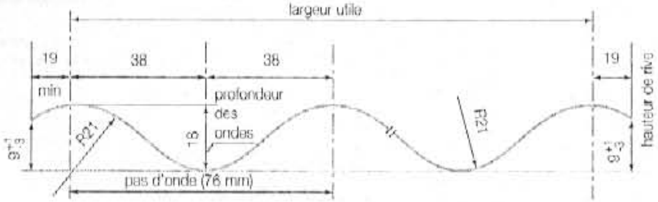
RÉFÉRENCES NORMATIVES

Couverture en plaques :
- ondulées en amiante ciment (DTU 40.31)
- ondulées métalliques (DTU 40.32)
- nervurées en acier galvanisé (DTU 40.35)
- nervurées en aluminium (DTU 40.36)

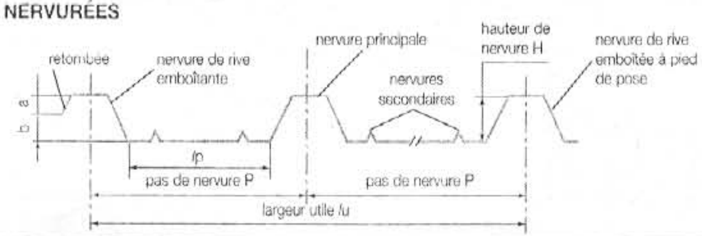
FORMES DES PLAQUES

PLAQUES ONDULÉES

cotes en mm



PLAQUES NERVURÉES



DTU

DIMENSIONS DES PLAQUES

	Longueurs courantes (m)	Largeur (m)	Épaisseur (mm)	Pas onde ou nervure (mm)	Hauteur onde ou nervure (mm)
Plaques ondulées - amiante ciment (NF P 33.301)	1,25 – 1,52 2,50 – 3,05				
- métalliques • acier galvanisé (NF A 36.321)	1,65 – 2,00 2,25 – 2,50 2,75 – 3,50 4,50	0,89	0,40 – 0,50 0,62 – 0,75 0,88 – 1,25	76	18
• acier inoxydable			0,40 – 0,50 0,60		
• zinc (NF A 55.601)	2,25	0,85 – 0,68	0,74 – 0,82		
• aluminium	1,50 – 2,00 2,50 – 3,00	0,90 – 1,25	0,60 – 0,70 0,80 – 0,90 1,2		
Plaques nervurées - acier galvanisé (NF P 34.401)	2,00 – 2,50 3,00 – 4,00 5,00 – 6,00 7,00 – 8,00	0,60 – 1,10	0,63 – 0,75 0,88 – 1,00 1,20		25
- aluminium (NF P 34.411)	2,00 à 12,00		0,60 – 0,70 0,80 – 1,00 1,10		20

PENTES ET RECOUVREMENTS LONGITUDINAL ET TRANSVERSAL

PLAQUES EN FIBRO CIMENT

- recouvrement longitudinal = 1/2 onde
- recouvrement transversal (voir tableau ci-dessous)

Pente p (%)	Zone I (1)			Zone II (1)				Zone III (1)			
	Longueur maximale du rampant (m) (4)	Recouvrement transversal minimum (mm)(2)	Complément d'étanchéité (3) toutes situations	Longueur maximale du rampant (m)(1)	Recouvrement transversal minimum (mm)(2)	Complément d'étanchéité[3] Situation protégée normale	Complément d'étanchéité[3] Situation exposée (5)	Longueur maximale du rampant (m) (4)	Recouvrement transversal minimum (mm) (2)	Complément d'étanchéité (3) Situation protégée normale	Complément d'étanchéité (3) Situation exposée (5)
9 ≤ p < 10	15	200	T	12	200	T	T + L	10	200	T	T + L
10 ≤ p < 13	20	200	T	15	200	T	T + L	12	200	T	T + L
13 ≤ p < 16	25	200	T	20	200	T	T + L	15	200	T	T + L
16 ≤ p < 21	30	200	–	25	200	T	T	20	200	T	T
21 ≤ p < 26	35	200	–	30	200	–	T	25	200	T	T
26 ≤ p < 31	40	200	–	35	200	–	–	30	200	–	–
p ≥ 31	40	140	–	35	140	–	–	30	140	–	–

(1) Les zones et situations sont définies au § 6.1
(2) En aucun cas le recouvrement transversal ne doit être supérieur à 250 mm.
(3) T : complément d'étanchéité transversal.
L : complément d'étanchéité longitudinal.
(4) Une étude particulière de l'étanchéité doit être faite pour des longueurs de rampants supérieures à ces valeurs.
(5) Lorsque la couverture doit être disposée en situation exposée, mention doit en être faite dans les Documents Particuliers du Marché.

PENTES ET RECOUVREMENTS LONGITUDINAL ET TRANSVERSAL (suite)

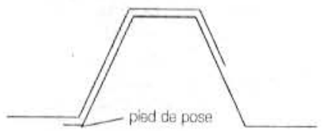
■ **PLAQUES MÉTALLIQUES**

- recouvrement longitudinal = 1 onde et 1/2
- recouvrement transversal (voir tableau ci-dessous)

Pente p (%)	Zone I		Zone II		Zone III	
	Longueur maximale du rampant (m)	Recouvrement transversal (mm)	Longueur maximale du rampant (m)	Recouvrement transversal (mm)	Longueur maximale du rampant (m)	Recouvrement transversal (mm)
0,25 à 0,29	30	130 à 120	25	140 à 130	20	140
0,30 à 0,39	plus de 30	110	30	130	25	130
0,40 à 0,49	–	100	plus de 30	120	plus de 25	130
0,50 et plus	–	100	–	110	–	120

■ **PLAQUES NERVURÉES**

- recouvrement longitudinal donné par l'emboîtement de la nervure



• **en acier galvanisé**

Pente p (%)	Zones climatiques	
	Zone I Zone II	Zone III
7 ≤ p < 10	300	Cas non prévu par ce DTU
10 ≤ p ≤ 15	200	300
p > 15	150	200

• **en aluminium**

Pente p (%)	Zones climatiques	
	Zone I Zone II	Zone III
7 ≤ p < 10	300	Cas non prévu par ce DTU
10 ≤ p ≤ 15	200	300
p > 15	150	200

6.8 COUVERTURES EN FEUILLES ET BANDES (DTU 40-41 à 40-45)

RÉFÉRENCES NORMATIVES

Couverture en feuilles et bandes :
- en zinc (DTU 40.41)
- en aluminium (DTU 40.42)
- en acier galvanisé (DTU 40.43)
- en acier inoxydable (DTU 40.44)
- en cuivre (DTU 40.45)

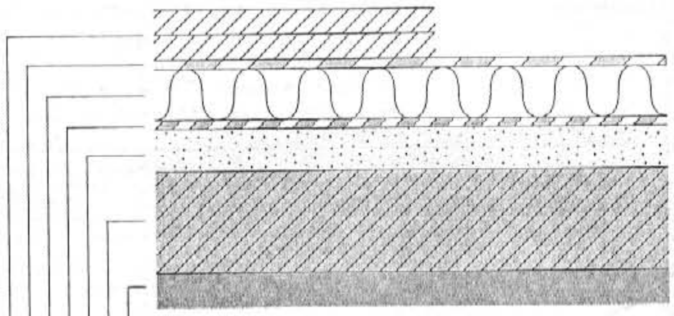
DIMENSIONS DES FEUILLES

Les feuilles sont soudées entre elles.

	Longueur maxi m	Largeur courante m	Épaisseur courante mm
Zinc (NF A 55-201)	Feuilles 3,00	0,50 – 0,65	0,65 – 0,7 – 0,8
Aluminium	Feuilles 4,00 Bandes 8,00	0,50 – 0,65	0,7
Acier galvanisé (NF A 36-320)	Variable	0,50 à 0,80	0,55 à 1
Acier inoxydable (NF A 36-331)	Feuilles 4,00	0,50 – 0,65	0,4
Cuivre (NF A 51-050)	Feuilles 2,00	0,50 – 0,65	0,5 – 0,6

7 ÉTANCHÉITÉ DES TOITURES-TERRASSES

7.1 CONSTITUTION D'UNE TOITURE-TERRASSE



Structure porteuse : C'est l'ossature porteuse. Elle peut être constituée d'une charpente en métal, béton armé, bois.

Élément porteur : C'est la partie supérieure résistante du gros-œuvre de la toiture qui constitue le support ou sur lequel repose le support proprement dit de l'étanchéité. Il peut être en maçonnerie, en tôles d'acier, en bois ou en béton cellulaire.

Forme de pente : Éventuelle

Pare-vapeur : C'est l'élément formant écran à la migration de la vapeur d'eau au travers de l'isolant thermique.

Isolation thermique : C'est généralement le support du revêtement d'étanchéité. Il limite les déperditions thermiques et protège l'élément porteur.

Étanchéité : Écran imperméable.

Protection : Elle limite les effets de l'action des agents atmosphériques sur l'étanchéité, et de la circulation.

DOC. SOPREMA

7.2 CLASSIFICATION DES TOITURES-TERRASSES

EN FONCTION DE LA PENTE DE L'ÉLÉMENT PORTEUR ET DE LA DESTINATION

Destination de la toiture	Protection du revêtement d'étanchéité	Pentes admises		
		Asphalte	Bitumes oxydés	Bitumes modifiés
Inaccessible	gravillon autoprotection	0 à 3 % 0 à 3 %	0 à 5 % ≥ 5 %	0 à 5 % toutes pentes
Technique	lourde autoprotection	0 à 3 % –	0 à 5 % 5 à 7 %	0 à 5 % 0 à 7 %
Accessible	dalles sur plots autres	0 à 3 % 1 à 3 %	0 à 5 % 1 à 5 %	0 à 5 % 1 à 5 %
Parking	conforme au DTU enrobés à chaud	1 à 3 % –	1 à 5 % –	1 à 5 % 1 à 5 %
Jardin Circulations	conforme au DTU drain direct	0 à 3 % –	0 à 5 % –	0 à 5 % 0 à 5 %

AUTRES CRITÈRES DE CLASSIFICATION

La classification peut aussi se faire selon :
- la résistance au feu,
- l'isolation thermique et/ou acoustique,
- la nature du revêtement d'étanchéité,
- etc.

SOURCE : ECOLE D'ÉTANCHÉITÉ, CSNE/DTSB

7.3 PARE-VAPEUR

RÔLE ET CONSTITUTION	
• Rôle du pare-vapeur :	éviter toute migration de vapeur d'eau afin d'empêcher la formation de condensation dans la masse de l'isolant.
• Produits constitutifs:	– un feutre 36S (CF : Carton Feutre ou VVHR : Voile de Verre Haute Résistance) entre deux EAC (Enduits d'Application à Chaud) ; – un bitume armé armature métallique ; – un bitume armé 40 TV (toile de verre) collé, soudé ou laissé libre ; – une feuille d'aluminium 8/100 enrobée de bitume ; – une feuille de polyéthylène d'épaisseur 300 μ.

SOURCE : SOPREMA

ÉLÉMENT PORTEUR	Hygrométrie et chauffage des locaux	Pare-vapeur		
		Avec EAC	Sans EAC	
		sous protection lourde ou avec revêtement autoprotégé	sous protection lourde	avec revêtement autoprotégé
Maçonnerie (1)	Cas courant	• EIF + EAC + 36 S + EAC	• EIF + BA 40 (4) soudé • BA 40 (4) indépendant, joints soudés (5) (6)	• EIF + BA 40 (4) soudé
	Planchers chauffants n'assurant qu'une partie du chauffage	• EIF + EAC + barrière à la vapeur armature alu (NF P 84-310) + EAC	• EIF + BA 40 TV th soudé • BA 40 TV th indépendant, joints soudés (5)	
	Locaux à forte hygrométrie et planchers chauffants assurant la totalité du chauffage	• EIF + 36 S perforé sous-facé (NF P 84-313) + EAC + barrière à la vapeur armature alu (NFP 84-310) + EAC	• EIF + BA 40 TV th soudé sur écran perforé spécifique pour soudure • BA 40 TV th collé par plots ou bandes de colle à froid • BA 40 TV th indépendant, joints soudés (5)	
Béton cellulaire (2)	Locaux à faible et moyenne hygrométrie	• EIF + écran perforé (papier ou feutre) + EAC + feuille bitume élastomère de 2 mm + EAC	• EIF + BA 40 (4) soudé sur écran perforé spécifique pour soudure • EIF + BA 40 (4) collé par plots ou bandes de colle à froid • BA 40 (4) indépendant, joints soudés (5) (6)	• EIF + BA 40 (4) soudé sur écran perforé spécifique pour soudure • EIF + BA 40 (4) collé par plots ou bandes de colle à froid (7)
Bois et dérivés (3)	Locaux à faible et moyenne hygrométrie	• 36 S cloué (8) + EAC	• BA 40 TV (4)cloué, joints soudés (9) • BA 40 (4) soudé (10) • BA 40 (4) indépendant joints soudés (5) (6)	• BA 40 TV (4) cloué, joints soudés (9) • BA 40 (4) soudé (10)
Tôles d'acier nervurées	Locaux à faible et moyenne hygrométrie	pas nécessaire	• sur tôles pleines : néant • sur tôles perforées : écran VV alu	• sur tôles pleines : néant • sur tôles perforées : écran VV alu
	Locaux à forte et très forte hygrométrie	• sur tôles pleines : DTU 43.3	• sur tôles pleines : DTU 43.3	• sur tôles pleines : DTU 43.3

Nota : EIF = Enduit d'Imprégnation à Froid

(1) Pontage des joints sur maçonnerie type D, conformément aux DTU 43.1 et 43.2

(2) Pontage des joints conformément aux « Conditions générales d'emploi des dalles de toiture en béton cellulaire autoclavé armé ».

(3) Pontage des joint sur panneaux conformément au DTU 43.4.

(4) Ou bitume modifié de 2,5 mm d'épaisseur.

(5) Surface ≤ 200 ou 500 m², fonction de celle admise pour l'isolant ; soudure en plein en périphérie de toiture (sur 0,30 m).

(6) Ou, dans le cas de revêtement d'étanchéité en haut polymère (PVC par exemple) film polyéthylène 250 ou 300 μ, jointoyé aux recouvrements ; le support ne doit pas présenter d'aspérités.

(7) Pente ≤ 20 %.

(8) – Recouvrement du 36 S : 0,10 m, libre.
– Clouage par clous à tête ≥ 10 mm (ou agrafes sauf sur bois massif) tous les 0,10 m en bordure et tous les 0,33 m en quinconce en pleine surface.

(9) – Recouvrement du BA 40 : 0,06 m soudé.
– Clouage par clous à tête ≥ 10 mm (ou agrafes sauf sur bois massif) tous les 0,33 m en quinconce.

(10) Sur panneaux dérivés du bois (contreplaqué, panneaux de particules).

Note : Les panneaux isolants en verre cellulaire (« imperméable » à la vapeur) ne nécessitent pas de pare-vapeur, sous réserve du respect de certaines conditions de mise en œuvre. Cette possibilité ne vise pas les cas d'étanchéité asphalte sur un lit de verre cellulaire, ni le climat de montagne.

7.4 ISOLATION THERMIQUE

RÔLE

- Limiter les déperditions
- Protéger le support des chocs thermiques, des variations de température (donc limiter ses variations dimensionnelles et les désordres qui y sont liés).

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Nature de l'isolant	Caractéristiques d'identification		Épaisseur utile (1) pour une résistance thermique 1 m²°C/W (sauf certification)	Caractéristiques géométriques usuelles	
	Masse volumique kg/m³	Résistance à la compression		Longueur mm	Largeur mm
Polystyrène expansé	25 ± 2	≥ 1,5 kg/cm² à 10 % ISO 844	4 cm	1 000 ± 5 1 200	500 ± 3
Polyuréthane (parementé papier)	30 ± 2 (hors parements)	≥ 1,7 kg/cm² à 10 % ISO 844	3 cm	600 ou 700 ± 2	600 ± 2
Polyuréthane (parementé verre)	30 ± 2 (hors parements)	≥ 1,7 kg/cm² à 10 % ISO 844	3 cm	600 ou 700 ± 2	600 ± 2
Liège (aggloméré expansé pur)	95 à 130	≥ 0,5 kg/cm² à 4 % NF B 57-054	4,5 cm	1 000 ± 3	500 ± 1,5
Verre cellulaire	125 ± 12	5 kg/cm² à rupture ASTM C 240/85	5 cm	300 ou 600 ± 1,5	450 ± 1,5
Perlite et fibres (agglomérées au bitume)	150 ± 20	2 kg/cm² à 10 % ISO 844	6 cm	1 200 ± 3	600 ± 3
Laine minérale parementée ou non	≥ 140 (hors parements)	≥ 0,2 kg+/cm² pour tassement 3 mm	4 cm	1 200 ± 3	1 000 ± 5

(1) Épaisseur minimale d'emploi suggérée.

Ces panneaux relèvent de la normalisation pour les panneaux à base de liège aggloméré expansé pur (NF B 57-054).

SOURCE : RÈGLES CONCERNANT LES TRAVAUX D'ÉTANCHÉITÉ DES TOITURES -TERRASSES, CNSE/DTSB

CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES

Matériaux	Stabilité dimensionnelle	Résistance à la compression	Cohésion	Sensibilité à l'humidité	Sensibilité aux températures de mise en œuvre des revêtements et au soleil	Pertes à la mise en œuvre
Polystyrène - expansé - extrudé	 médiocre médiocre	 moyenne satisfaisante	 satisfaisante satisfaisante	 satisfaisante satisfaisante	 forte forte	 faibles faibles
Polyuréthane - parement papier - parement voile de verre	 peu stable (éclate au gel) stable	 satisfaisante satisfaisante	 satisfaisante satisfaisante	 satisfaisante satisfaisante		 faibles faibles
Liège	bonne	moyenne	satisfaisante	forte	satisfaisante	importantes (1)
Perlite	bonne	bonne	faible	forte	satisfaisante	importantes (1)
Laines minérales	très bonne	faible amél. trait. part.	faible	forte	satisfaisante	faibles
Foamglas	bonne	forte	faible	faible (risque)	satisfaisante	importantes (1)

SOURCE : ÉCOLE D'ÉTANCHÉITÉ, CNSE/DTSB

(1) en panneaux minces

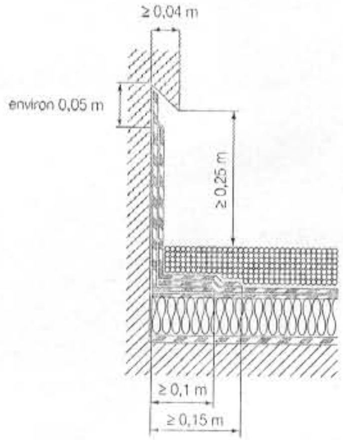
7.5 PROTECTIONS

AUTO-PROTECTION

À partir de :
- feuilles métalliques « gaufrées » à base d'aluminium, de cuivre ou d'inox. Le gaufrage est destiné à stabiliser la feuille vis-à-vis des phénomènes de dilatation thermique alternés (dilatation autocompensée),
- granulats céramiques dont la couleur est obtenue essentiellement à partir de pigments minéraux très stables à la lumière.

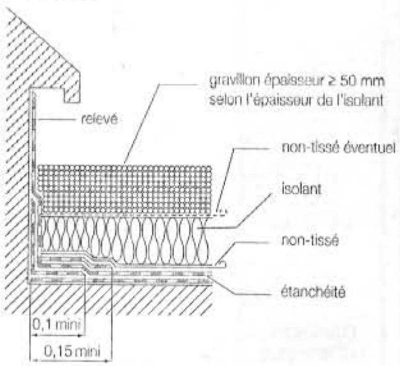
TOITURE AVEC PROTECTION MEUBLE

■ TERRASSES INACCESSIBLES



SOURCE : RÈGLES PROFESSIONNELLES CNSE/DTSB

• Inversée

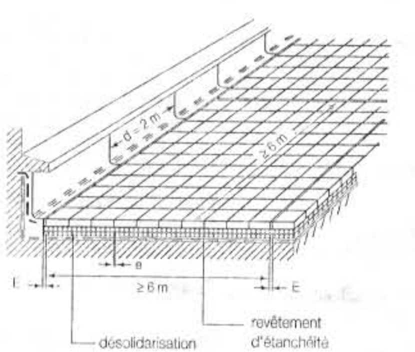


SOURCE : ÉTANCHÉITÉ DU BTP À BASE DE BITUME, CNSE/DTSB

TOITURE AVEC PROTECTION DURE

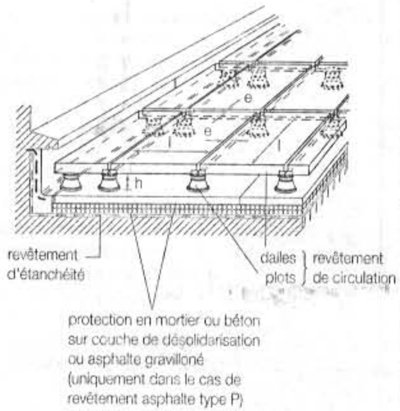
■ TERRASSES ACCESSIBLES

• Protection par éléments préfabriqués



E : ≥ 2 cm
joint garni de produit ou dispositif imputrescible apte aux déformations alternées.
e : joint serré

• Protection dure complétée par dalles sur plots



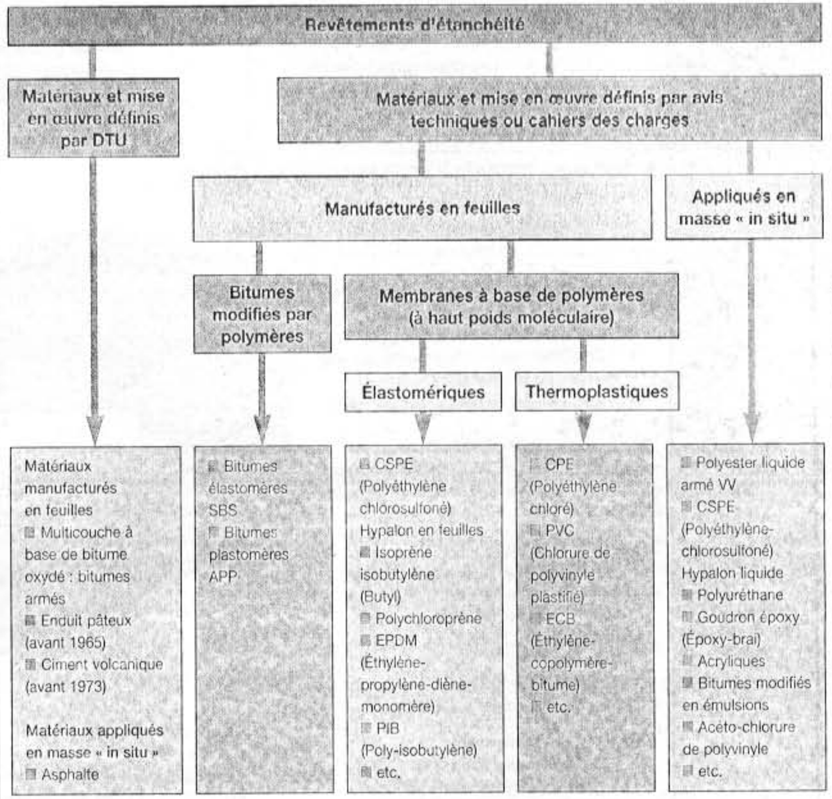
SOURCE : ÉTANCHÉITÉ DU BTP À BASE DE BITUME, CNSE/DTSB

7.6 REVÊTEMENTS D'ÉTANCHÉITÉ

QUALITÉS REQUISES

- Imperméabilité à l'eau
- Résistance :
  - à la fissuration du support,
  - au poinçonnement statique et dynamique,
  - à la compression
- Stabilité dimensionnelle
- Élasticité, souplesse à froid
- Tenue à chaud
- Résistance au vieillissement
- Tenue aux racines
- Compatibilité avec d'autres matériaux
- Facilité de réparation

PRODUITS DISPONIBLES

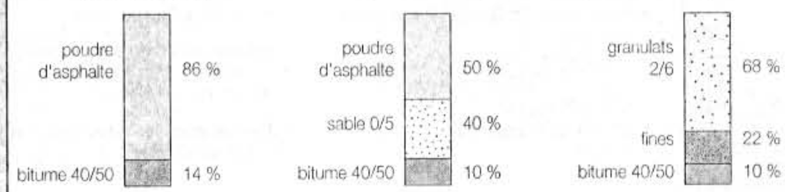


DOC. CSNE / DTSB

ASPHALTE COULÉ

■ FORMULATIONS MOYENNES

Asphalte pur (2 100 daN/m³)	Asphalte sablé (2 300 daN/m³)	Asphalte gravillonné (2 350 daN/m³)



DOC. CSNE / DTSB

ASPHALTE COULÉ (suite)

■ COMPOSITION DES REVÊTEMENTS

• Type A
- Papier entre deux sans fil
- 5 mm - Asphalte pur qualité étanchéité
- 15 mm - Asphalte sablé qualité étanchéité

• Type P
- Papier entre deux sans fil (ou deux papiers kraft)
- 5 mm - Asphalte pur qualité parc
- 15 mm - Asphalte sablé qualité parc
- Papier entre deux sans fil (ou deux papiers kraft)
- 20 mm - Asphalte gravillonné qualité protection parc

■ UTILISATION DES REVÊTEMENTS

- Constitution et utilisation définies dans les NF P DTU.
- Pente maximum 3 %.
- Revêtement indépendant du support (sauf rampe)

• Type A - Toutes terrasses (+ protection lourde généralement)

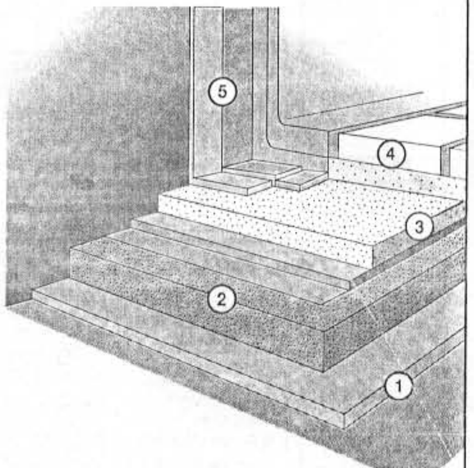
• Type P - Véhicules légers
- Toitures piétonnes (+ protection dalles sur plots)
- Véhicules lourds (+ protection en dur)

ETANCHÉITÉ PAR ASPHALTE COULÉ

■ TOITURE-TERRASSE ACCESSIBLE AUX PIÉTONS

- Pente 1 à 3 %
- Revêtement sous protection dure

Sur maçonnerie, conforme au DTU 20-12.



1. Pare-vapeur :
- 1 EIF (vernis bitumeux)
- 1 EAC (couche de bitume à chaud)
- 1 36 S WHR (feutre bitumé armé par voile de verre haute résistance)
- 1 EAC (servant au collage des panneaux isolants)

Sur planchers chauffants ou au-dessus de locaux à forte hygrométrie, le pare-vapeur est renforcé et comprend une couche de diffusion de vapeur.

2. Isolation thermique :
- Panneaux de perlite expansée et fibres : épaisseur 20 à 120 mm
- Liège aggloméré expansé pur : épaisseur 30 à 80 mm
- Verre cellulaire : épaisseur 40 à 130 mm

D'autres isolants peuvent être utilisés.

3. Revêtement d'étanchéité :
- 1 feuille de papier entre deux sans fil
- 1 couche d'asphalte coulé pur qualité étanchéité de 5 mm d'épaisseur
- 1 couche d'asphalte sablé qualité étanchéité de 15 mm d'épaisseur

D'autres étanchéités peuvent être utilisées.

4. Protection :
- 1 couche de gravillons 3/15 d'épaisseur ≥ 0,03 m
- 1 non tissé synthétique ≥ 170 g/m^2
- 1 forme de protection en mortier de 4 cm d'épaisseur
- 1 revêtement de sol scellé (carrelage, pierre...)

5. Relevés d'étanchéité :
- 1 EIF
- Asphalte pur remonté sur 0,10 m
- Chanfrein en asphalte sablé de 30 x 30 mm
- 1 chape à base de bitume SBS Ruboprène 3525 soudée sur toute la hauteur du relevé (avec talon de 0,10 m)
- 1 chape de bitume armé type 50 TV th Aluver 50 Ts autoprotégée par feuille d'aluminium, soudée (avec talon de 0,15 m).

Entrées des eaux de pluie : insertion de la platine dans l'asphalte pur. Mise en place d'une grille en fonte à l'aplomb de l'évacuation.

Joint de dilatation : par système de joint plat avec protection démontable.

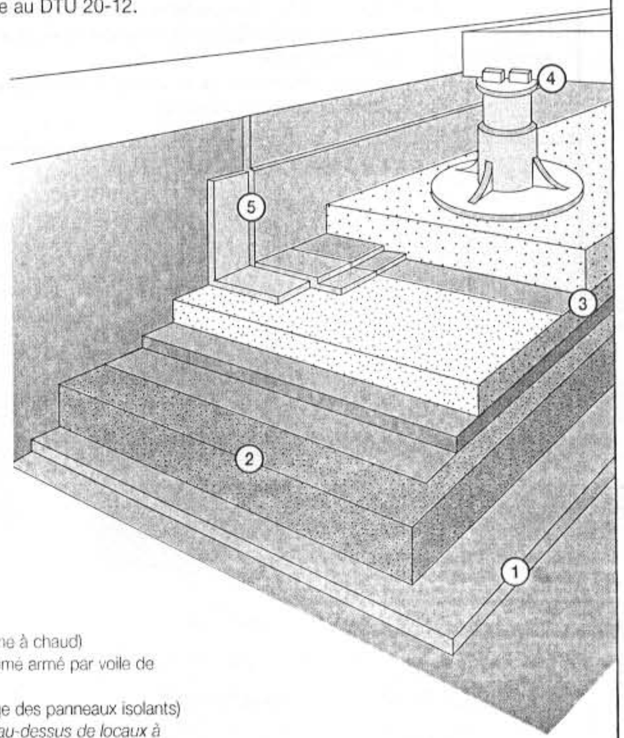
DOC. SMAC ACIEROÏD

ETANCHÉITÉ PAR ASPHALTE COULÉ (suite)

■ TOITURE-TERRASSE ACCESSIBLE AUX PIÉTONS

- Pente 0 à 3 %
- Revêtement sous dalles sur plots

Sur maçonnerie, conforme au DTU 20-12.



1. Pare-vapeur :
- 1 EIF (vernis bitumeux)
- 1 EAC (couche de bitume à chaud)
- 1 36 S WHR (feutre bitumé armé par voile de verre haute résistance)
- 1EAC (servant au collage des panneaux isolants)

Sur planchers chauffants ou au-dessus de locaux à forte hygrométrie, le pare-vapeur est renforcé et comprend une couche de diffusion de vapeur.

2. Isolation thermique :
- Panneaux de perlite expansée et fibres : épaisseur 20 à 120 mm
- Liège aggloméré expansé pur : épaisseur 30 à 80 mm
- Verre cellulaire : épaisseur 40 à 130 mm

D'autres isolants peuvent être utilisés.

3. Revêtement d'étanchéité :
- 1 feuille de papier entre deux sans fil
- 1 couche d'asphalte coulé pur qualité parc de 15 mm d'épaisseur
- 1 feuille de papier entre deux sans fil
- 1 feuille d'asphalte gravillonné, qualité protection parc de 20 mm d'épaisseur.

Une autre étanchéité peut être utilisée.

4. Protection :
Dalles de 40 x 40 en béton, posées sur plots préfabriqués de 0,05 m de hauteur minimum.

5. Relevés d'étanchéité :
- 1 EIF
- Asphalte pur remonté sur 0,10 m
- Chanfrein en asphalte sablé de 30 x 30 mm
- 1 chape à base de bitume SBS Ruboprène 3525 soudée sur toute la hauteur du relevé (avec talon de 0,10 m)
- 1 chape de bitume armé type 50 TV th autoprotégée par feuille d'aluminium, soudée (avec talon de 0,15 m).

Protection des relevés contre les agressions mécaniques : par solin en mortier de ciment armé d'un grillage et fractionné tous les 2 m par joints secs.

Noues : le revêtement d'étanchéité des parties courantes est poursuivi dans les noues sans modification.

Entrées des eaux de pluie : insertion de la platine dans l'asphalte pur.
Mise en place d'une grille en fonte à l'aplomb de l'évacuation.

Joint de dilatation : par système de joint plat avec protection demontable.

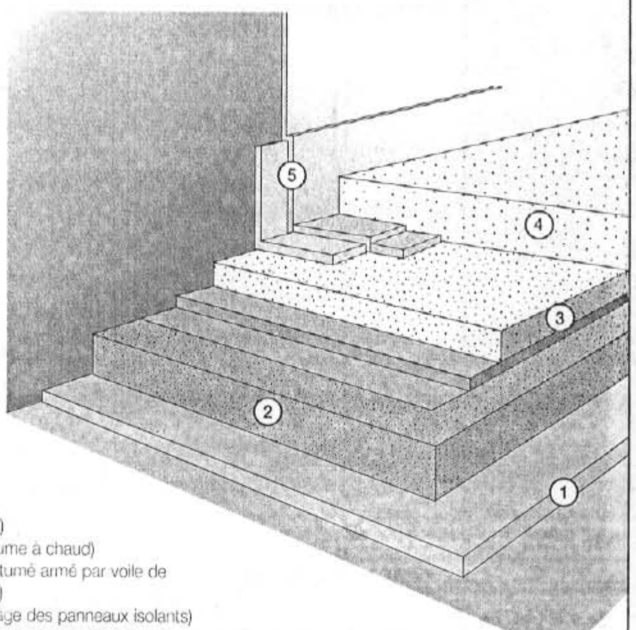
DOC. SMAC ACIEROÏD

ETANCHÉITÉ PAR ASPHALTE COULÉ (suite)

■ TOITURE-TERRASSE INACCESSIBLE

- Pente de 0 à 3 %
- Revêtement sous protection gravillon

Sur maçonnerie, conforme au DTU 20-12.



1. Pare-vapeur :

- 1 EIF (vernis bitumeux)
- 1 EAC (couche de bitume à chaud)
- 1 36 S WHR (feutre bitumé armé par voile de verre haute résistance)
- 1EAC (servant au collage des panneaux isolants)

Sur planchers chauffants ou au-dessus de locaux à forte hygrométrie, le pare-vapeur est renforcé et comprend une couche de diffusion de vapeur.

2. Isolation thermique :

- Panneaux de perlite expansée et fibres : épaisseur 20 à 120 mm
- Liège aggloméré expansé pur : épaisseur 30 à 80 mm
- Verre cellulaire : épaisseur 40 à 130 mm

D'autres isolants peuvent être utilisés.

3. Revêtement d'étanchéité :

- 1 feuille de papier entre deux sans fil
- 1 couche d'asphalte coulé pur qualité étanchéité de 5 mm d'épaisseur
- 1 couche d'asphalte sablé qualité étanchéité de 15 mm d'épaisseur

4. Protection :

Une couche de granulats roulés ou concassés de 0,04 m d'épaisseur minimale.
La protection par gravillon peut être supprimé si l'étanchéité asphalte est mise en œuvre directement sur support en maçonnerie, dans les régions sans forte opposition de température.

5. Relevés d'étanchéité :

- 1 EIF
- Asphalte pur remonté sur 0,10 m
- Chanfrein en asphalte sablé de 30 x 30 mm
- 1 équerre de 0,25 m de développé constituée d'une feuille Ruboprène 3525 de 3,5 m d'épaisseur à base de bitume élastomère SBS soudée (avec talon de 0,10 m)
- 1 chape de bitume modifié Rollpren autoprotégée par feuille d'aluminium, soudée (avec talon de 0,15 m).

Noues : le revêtement d'étanchéité des parties courantes est poursuivi dans les noues sans modification.

Entrées des eaux de pluie : insertion de la platine dans l'asphalte pur. Mise en œuvre d'un dispositif, destiné à arrêter les gravillons, avec couvercle amovible ajouré.

Conduits de ventilation de chute : tuyaux de ventilation en plomb ou en matériau spécialement adapté à cet usage avec platine insérée dans l'asphalte pur.

Joint de dilatation : double costière en maçonnerie habillée d'un relevé d'étanchéité avec couronnement :
- par couverture métallique,
- par système de joint plat.

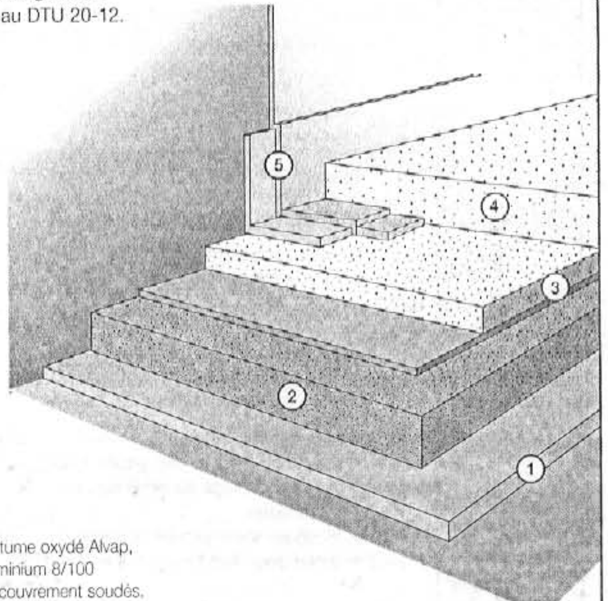
DOC. SMAC ACIEROÏD

ETANCHÉITÉ PAR ASPHALTE COULÉ (suite)

■ TOITURE-TERRASSE INACCESSIBLE, SYSTÈME BARYPHALTE®

- Pente de 0 à 3 %
- Revêtement sous protection gravillon

Sur maçonnerie, conforme au DTU 20-12.



1. Pare-vapeur :

Feuilles manufacturées en bitume oxydé Alvap, surfacées d'une feuille d'aluminium 8/100 déroulées à sec, joints de recouvrement soudés.
Sur planchers chauffants assurant la totalité du chauffage ou au-dessus de locaux à forte hygrométrie, le pare-vapeur est déroulé sur une couche de diffusion de vapeur.

2. Isolation thermique :

- Panneaux de perlite expansée et fibres : épaisseur 20 à 120 mm
- Liège aggloméré expansé pur : épaisseur 30 à 80 mm
- Verre cellulaire : épaisseur 40 à 130 mm

D'autres isolants peuvent être utilisés.

3. Revêtement d'étanchéité :

- Chape Barryprène 20 I composée d'une armature voile de verre 50 g/m2 imprégnée d'un liant à base de bitume, modifié par SBS à haute teneur en styrène et comportant des charges minérales de densité élevée, avec sous-face revêtue de kraft siliconé crêpé et surface revêtue de talc écailleux. La chape est posée librement sur le support, sans soudage des joints ni des abouts de lés.
- 1 couche d'asphalte sablé qualité étanchéité de 15 mm d'épaisseur. Caractéristiques d'identification (essai A en 1/10e de mm) : AS1 sablé 7 à 20

La température de l'asphalte soude les lés de la chape entre eux.

4. Protection :

Une couche de granulats roulés ou concassés de 0,04 m d'épaisseur minimale.

5. Relevés d'étanchéité :

- 1 EIF
- 1 équerre de 0,25 m de développé constituée d'une feuille Ruboprène 3525 de 3,5 m d'épaisseur à base de bitume élastomère SBS soudée (avec talon de 0,10 m)
- 1 chape soudée Rollpren ardoisé, armée d'une grille de verre/voile de verre avec liant à base de bitume modifié de 3,5 mm d'épaisseur, autoprotégée ardoisée (avec talon de 0,15 m).

Noues : le revêtement d'étanchéité des parties courantes est poursuivi dans les noues sans modification.

Entrées des eaux de pluie : insertion de la platine soit dans une sous-couche en asphalte sablé, soit entre 2 chapes Baryprène 20 I, dont la première est soudée en plein au support, recouvertes par la partie courante en asphalte.

Conduits de ventilation de chute : tuyaux de ventilation en plomb ou en matériau spécialement adapté à cet usage avec platine insérée dans l'asphalte pur.

Joint de dilatation : double costière en maçonnerie habillée d'un relevé d'étanchéité avec couronnement :
- par couverture métallique,
- par système de joint plat.

DOC. SMAC ACIEROÏD

MEMBRANES À BASE DE BITUME

CARACTÉRISTIQUES

• Systèmes avec matériaux à base de bitume-polymère

Ces revêtements sont composés de feuilles manufacturées à base de liant bitume-polymère et renforcées par des armatures.

Liants bitume-polymère APP ou SBS (élastomères)

Armatures : les armatures couramment utilisées sont soit minérales (voile de verre (VV), grille de verre (GV)), soit synthétiques (non lissé de polyester, composite (verre + polyester)). Les caractéristiques mécaniques de la feuille dépendent de la nature et du grammage de l'armature.

Traitement des faces

- un produit anti-adhérent appliqué sur une ou deux faces : grésage ou film plastique,
- une autoprotection : feuille d'aluminium, de cuivre ou d'inox ou granulés minéraux,
- une couche d'indépendance : papier kraft crêpé, granulés de liège ou minéraux, ou feuille d'aluminium,
- un film plastique thermofusible destiné à faciliter le soudage lors de la mise en œuvre,
- dans le cas de feuilles auto-adhésives, un papier siliconé pelable.

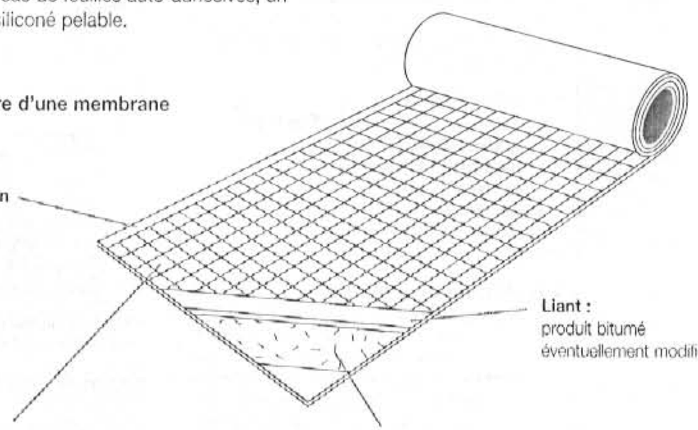
• Systèmes avec matériaux à base de bitume oxydé

Ce sont des feuilles manufacturées dont le liant est un bitume oxydé fillérisé et l'armature un carton feutre, une toile (de jute ou de verre), un voile ou un tissu de verre, un non-tissé de polyester (cf. NF P 84-300).

Il existe trois catégories de feuilles :

- Les feutres bitumés grésés 2 faces ou sous-face kraft :
  36S CF, 36S VV, 36S VVHR, 36S PYVV,
  ce sont des matériaux minces.
- Les chapes souples de bitume armé soit grésées (ou filmées), soit autoprotégées :
  BA 40 TV, BA 40 TV th, BA 40 CF, BA 40 TJ, BA 40 VV, BA 40 TVVV, BA 50 TVVV HR,
  ce sont des matériaux plus épais que les feutres.
- Les barrières à la vapeur :
  enrobage d'une feuille d'aluminium 8/100 par bitume oxydé fillérisé.

• Structure d'une membrane



Etat de surface
Les faces des feuilles bitumineuses peuvent comporter un traitement anti-adhérent (grésage, film, granulés de liège ou minéraux, kraft...) et, pour certaines, une autoprotection (feuille d'aluminium brute ou prélaquée, cuivre, acier inoxydable, paillettes d'ardoise ou granulés minéraux).

Armature :
- cellulosique (feutre cellulosique, toile de jute)
- minérale (voile de verre, toile de verre, toile et voile de verre, film, grille)
- organique (non-tissé polyester)
- composite (par exemple : polyester-verre...)
- métallique

SOURCE : ÉTANCHÉITÉ DU BTP À BASE DE BITUME, CSNE/DTSB

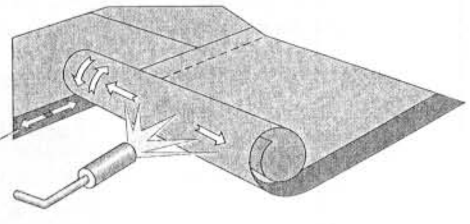
MEMBRANES À BASE DE BITUME (suite)

POSE

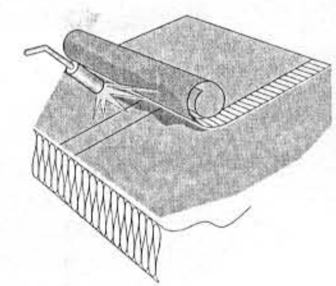
• Système adhérent

Ce système de pose est plutôt retenu lorsque le support peut être considéré comme stable ou lorsque les efforts à l'arrachement sont importants.

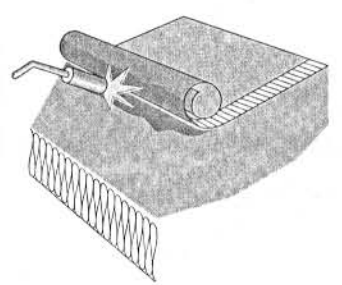
Soudage au chalumeau



Soudage au chalumeau sur 1re couche



Soudage au chalumeau sur isolant « soudable »

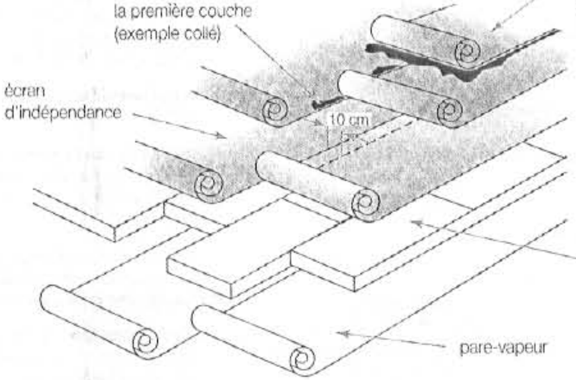


• Système indépendant

Ce système est notamment utilisé pour dissocier le revêtement d'étanchéité des mouvements éventuels de son support, il n'est applicable que sur des supports de pente ≤ 5 % et doit être lesté par une protection lourde (meuble ou dure).

L'indépendance est assurée ou renforcée par un écran d'indépendance généralement déroulé à sec avec recouvrement de 0,10 m sur le rapport.

Pose en indépendance du revêtement d'étanchéité



SOURCE : ÉTANCHÉITÉ DU BTP À BASE DE BITUME, CSNE/DTSB

MEMBRANES À BASE DE BITUME (suite)

- **Système semi-indépendant**

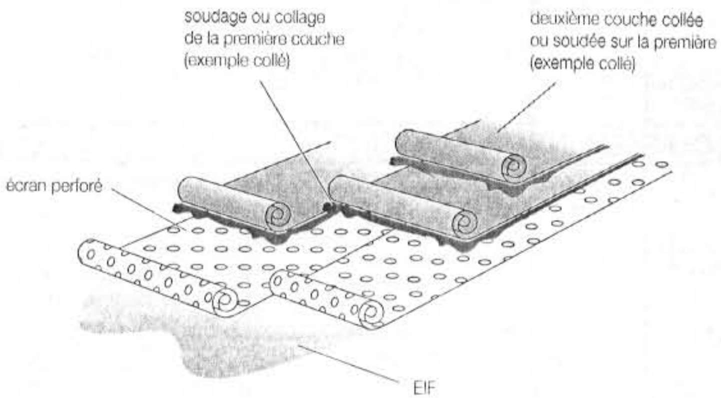
Ce système est un compromis entre l'indépendance et l'adhérence. Il permet à un revêtement autoprotégé de n'être solidarisé que ponctuellement à un support légèrement instable, ce qui rend possible une certaine résistance aux effets du vent et de la circulation.

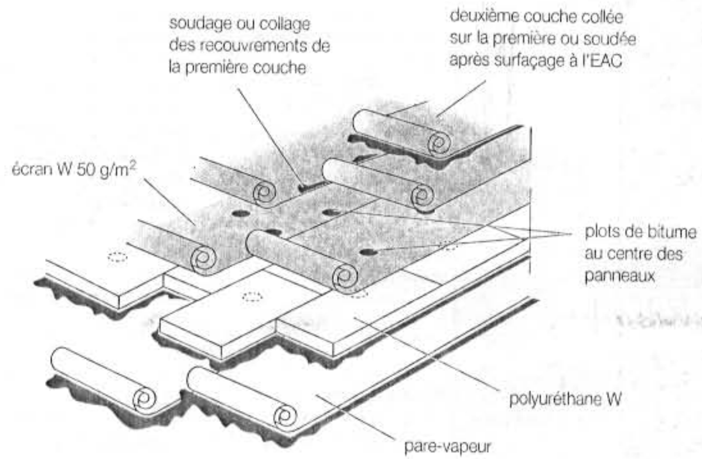
Par ailleurs, ce système permet de diffuser la vapeur d'eau venant du support.

Ne nécessitant pas de lestage, il peut être utilisé là où une protection rapportée lourde n'est pas nécessaire ou est impossible à réaliser compte tenu de la pente > 5 %.

Il est utilisé également sur des supports < 15 % dans le cas de l'asphalte sur rampes.

Pose en semi-indépendance du revêtement d'étanchéité



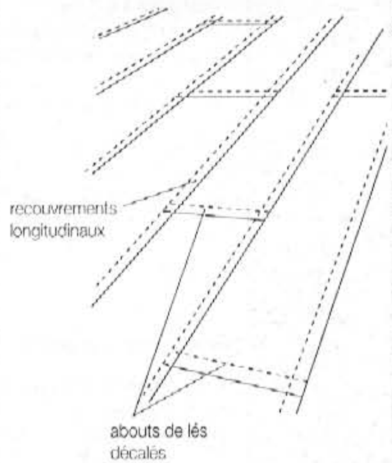


SOURCE : ÉTANCHÉITÉ DU BTP À BASE DE BITUME, CSNE/DTSB

MEMBRANES À BASE DE BITUME (suite)

■ LARGEUR DE RECOUVREMENT DES LÉS

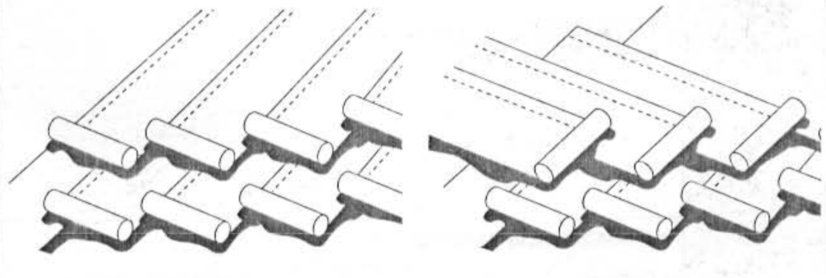
Feuilles	Bicouche et multicouche	Monocouche
Feuilles sans autoprotection		
- Recouvrements longitudinaux	0,06 m	0,10 m
- Abouts de lés	0,10 m	0,15 m
Feuilles avec autoprotection minérale		
- Recouvrements longitudinaux	largeur galon (≥ 0,06 m)	largeur galon (≥ 0,06 m)
- Abouts de lés	0,10 m	0,15 m
Feuilles avec autoprotection métallique		
- Recouvrements longitudinaux	largeur galon (≥ 0,06 m) + 1 carreau	
- Abouts de lés	0,10 m	



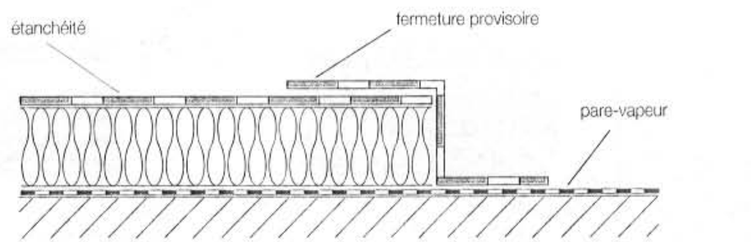
■ MULTICOUCHE AVEC PROTECTION RAPPORTÉE

Techniques de mise en œuvre

A lits décalés — A lits croisés



■ FERMETURE PROVISOIRE SUR ISOLANT THERMIQUE



SOURCE : ÉTANCHÉITÉ DU BTP À BASE DE BITUME, CSNE/DTSB

MEMBRANES À BASE DE RÉSINES THERMO-PLASTIQUES

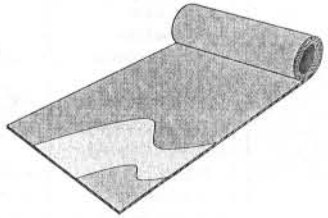
■ MEMBRANES À BASE DE PVC (Polychlorure de polyvinyle)

- épaisseur 1 à 2 mm
- armature éventuelle en polyester (grillé ou non tissé)
- la membrane PVC peut être associée à un non-tissé en sous-face.

• Membrane armée d'une grille polyester

Pose par fixations mécaniques ou en indépendance.

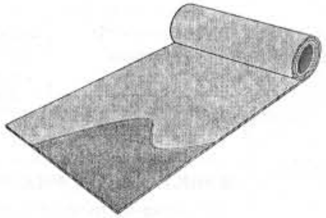
Épaisseur 12/10 14/10 15/10
18/10 20/10 24/10



• Membrane non armée

Pièces préfabriquées, joints de dilatation, angles, détails...

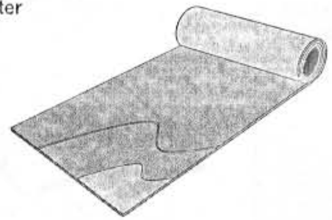
Épaisseur 15/10 18/10 ...



• Membrane sous-facée d'un non-tissé polyester

Pose par collage.

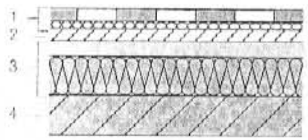
Épaisseur PVCP 12/10



■ ÉTANCHÉITÉ APPARENTE

• Collage

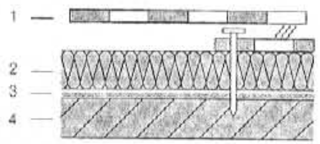
Ce système de pose est retenu lorsque des contraintes diverses rendent impossible la mise en œuvre par fixations mécaniques.



1. Sikaplan 12 DFB
2. Sika colle SF
3. ancien complexe d'étanchéité
4. élément porteur

• Fixation mécanique

Les membranes d'étanchéité sont fixées au support béton, bois ou bac acier à l'aide de fixations mécaniques adéquates, rails de fixation ou fixations ponctuelles.



1. Sikaplan - Sikanorm
2. isolant thermique
3. pare-vapeur
4. élément porteur

DOC. SIKA

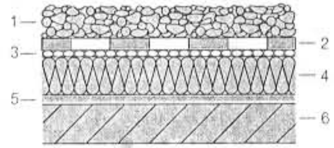
MEMBRANES À BASE DE RÉSINES THERMO-PLASTIQUES (suite)

■ ÉTANCHÉITÉ SOUS LESTAGE

• Terrasse gravillons ou dalles préfabriquées

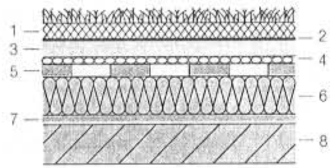
Ce système est plus particulièrement employé sur les terrasses des immeubles administratifs et d'habitation, lorsque le support béton est à même de supporter la charge du lestage.

- en toiture inaccessible : gravillon
- en toiture accessible : dalles sur plots



1. lestage
2. Sikaplan-Tarlon
3. écran de désolidarisation
4. isolant thermique
5. pare-vapeur
6. élément porteur

• Terrasse jardin



1. lestage
2. couche filtrante
3. couche drainante
4. couche antipoinçonnante
5. tarlon 13 P
6. isolant thermique
7. pare-vapeur
8. élément porteur

DOC. SIKA

7.7 CLASSEMENT « F.I.T. »

DÉFINITION

Classement d'aptitude à l'emploi des systèmes d'étanchéité en fonction de 3 paramètres représentatifs des sollicitations auxquelles ils sont soumis :

F FATIGUE	**Endurance aux mouvements du support** - Essai de fatigue au fissuromètre • à l'état neuf • à l'état vieilli → 5 classes : F1 à F5	Classement F F_1 Bitume oxydé armature VV F_2 Bitume oxydé armature TV F_3 Asphalte Bitume APP armature VV Bitume oxydé armature PY F_4 Bitume APP armature PY 150 g Bitume SBS armature VV ou PY collé à l'EAC F_5 Bitume SBS armature > 110 g sans EAC PVC sous-facé PY
I INDENTATION	**Résistance au poinçonnement statique** - Essai → 5 sous-classes : L1, L2, L3, L3S, L4. **Résistance au poinçonnement dynamique** - Essai → 3 sous-classes : D1, D2, D3. **Combinaison des sous-classes :** → 6 classes : I1, I2, I3, I3S, I4, I5.	Classement I I_1 Étanchéité liquide Monocouche APP armé film PE I_2 Bitume oxydé DTU Bicouche SBS 2 VV I_3 Bitume oxydé armé PY 110 g Bicouche SBS armature L3 Monocouche SBS armature PY 100 à 130 g I_4 Monocouche APP armature PY 180 g Monocouche SBS autoprotégé armature PY 180 g PVC 1,2 mm I_5 Bicouche SBS armature PY 180 g soudé Monocouche SBS sous dalles sur plots Bicouche jardin
T TEMPÉRATURE	**Tenue à la température** - Essai de glissement → 4 classes : T_1 à T_4	Classement T T_1 Asphalte T_2 Bitume oxydé Bitume élastomère collé à l'EAC T_3 Bitume SBS soudé T_4 Certains bitumes SBS soudés Bitume APP

■ PERFORMANCES DES SYSTÈMES D'ÉTANCHÉITÉ

Support direct du revêtement	Pente (%)	Exploitation, usage et type de protection de la toiture							
		Inaccessible		Accessible		Accessible		Technique	
				Piétonnier	Véhicules	Piétonnier	Jardins		
		Auto-protection (apparent) (1)	Meuble (graviers) (2)	Protection dure		Protection directe dalles sur plot	Protection directe par couche drainante	Auto-protection (apparent)	Dure dalles sur graviers (2)
Isolant thermique	0	$F_4 I_2 T_2$ (3) (4)	$F_3 I_3 T_1$ (5)			$F_5 I_4 T_3$	$F_3 I_5 T_1$	$F_4 I_4 T_2$	$F_3 I_3 T_2$ (5)
	Plate	$F_4 I_2 T_2$ (3) (4)	$F_3 I_3 T_2$ (5)	$F_4 I_4 T_2$	$F_5 I_4 T_2$	$F_5 I_4 T_3$	$F_3 I_5 T_2$	$F_4 I_4 T_2$	$F_3 I_3 T_2$ (5)
	Inclinée	$F_4 I_2 T_2$ (6)						$F_4 I_4 T_2$ (6)	
Béton	0	$F_4 I_2 T_2$	$F_3 I_3 T_1$			$F_5 I_4 T_3$	$F_3 I_5 T_1$	$F_4 I_4 T_2$	$F_3 I_3 T_2$
	Plate	$F_4 I_2 T_2$	$F_3 I_3 T_2$	$F_4 I_4 T_2$	$F_5 I_4 T_2$	$F_5 I_4 T_3$	$F_3 I_5 T_2$	$F_4 I_4 T_2$	$F_3 I_3 T_2$
	Inclinée	$F_4 I_2 T_2$						$F_4 I_4 T_2$	
Béton + Isol inversé	0		$F_3 I_3 T_1$			$F_3 I_3 T_2$ (2)	$F_3 I_5 T_1$		$F_3 I_3 T_1$
	Plate		$F_3 I_3 T_2$	$F_3 I_3 T_2$		$F_3 I_3 T_2$ (2)	$F_3 I_5 T_2$		$F_3 I_3 T_2$
Béton cellulaire	Plate	$F_4 I_2 T_2$	$F_3 I_3 T_2$					$F_4 I_4 T_2$	$F_3 I_3 T_2$
	Inclinée	$F_4 I_2 T_2$						$F_4 I_4 T_2$	
Bois et panneaux dérivés	Plate	$F_4 I_2 T_2$	$F_3 I_3 T_2$					$F_4 I_4 T_2$	$F_3 I_3 T_2$
	Inclinée	$F_4 I_2 T_2$ (6)						$F_4 I_4 T_2$ (6)	
Ancien revêtement	0	$F_4 I_2 T_2$	$F_3 I_3 T_2$			$F_5 I_4 T_3$	$F_3 I_5 T_1$	$F_4 I_4 T_2$	$F_3 I_3 T_2$
	Plate	$F_4 I_2 T_2$	$F_3 I_3 T_2$	$F_4 I_4 T_2$	$F_5 I_4 T_2$	$F_5 I_4 T_3$	$F_3 I_5 T_2$	$F_4 I_4 T_2$	$F_3 I_3 T_2$
	Inclinée	$F_4 I_2 T_2$ (6)						$F_4 I_4 T_2$ (6)	

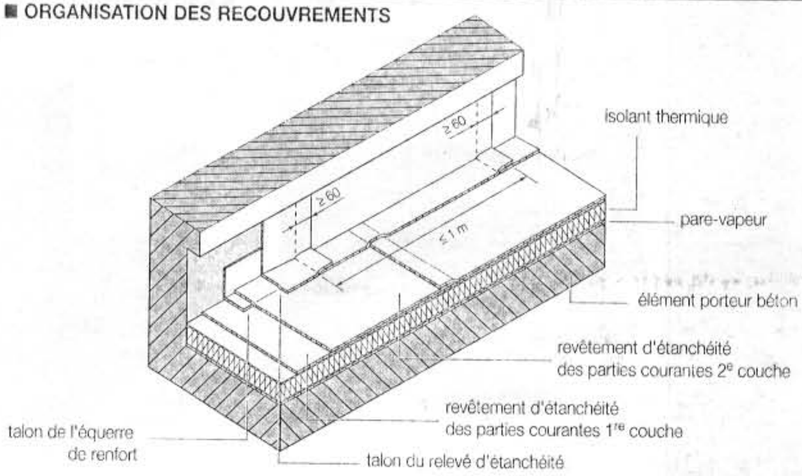
(1) Indice I porté à I_3 pour les revêtements monocouches
(2) Indice I porté à I_4 pour les revêtements monocouches
(3) Indice I porté à I_3 pour laine minérale sur béton et béton cellulaire
(4) Indice I porté à I_3 sur laine minérale de Rth > 2 m².°C/W
(5) Indice I porté à I_4 pour laine minérale sur béton et béton cellulaire et pour polystyrène expansé
(6) Indice T porté à T_3 si Rth > 2 m².°C/W

DOC. SIPLAST

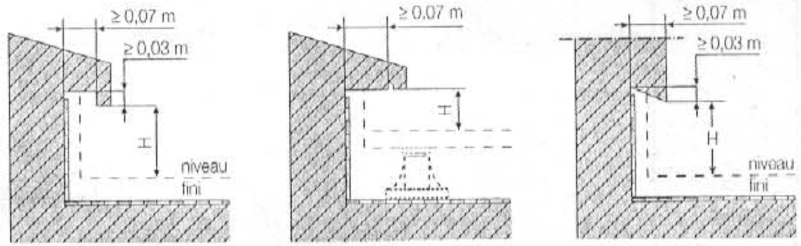
7.8 QUELQUES SINGULARITÉS ET DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

RELEVÉ D'ÉTANCHÉITÉ

■ ORGANISATION DES RECOUVREMENTS



■ TYPES DE RELIEFS AVEC RELEVÉS PROTÉGÉS

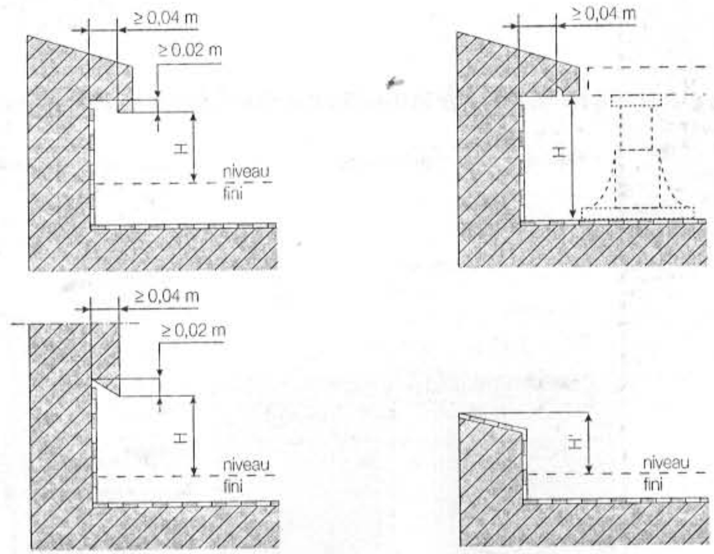


Nota : La cote de 0,07 m passe à 0,09 m quand la hauteur du relevé est > 0,40 m.
Dans le cas d'isolation thermique en relevé, cette cote (0,07 m ou 0,09 m) est augmentée de l'épaisseur de l'isolant.

	Sans pente	Avec pente 1 à 5 %	Avec pente ≥ 5 %			En terrasse jardin (niveau terre) quelle que soit la pente	En terrasse dalles sur plots pente 0 à 5 %
			En noue		Autre cas		
			Pente ≤ 20 %	Pente > 20 %			
Hauteur H	≥ 0,15 m	≥ 0,25 m	≥ 0,15 m	≥ 0,25 m	≥ 0,10 m	≥ 0,15 m	≥ 0,10 m

RELEVÉ D'ÉTANCHÉITÉ (suite)

■ TYPES DE RELIEFS AVEC RELEVÉS AUTOPROTÉGÉS



Nota : La cote de 0,04 m est à augmenter de l'épaisseur de l'isolant thermique éventuel.

	Sans pente	Avec pente 1 à 5 %	Avec pente ≥ 5 %			En terrasse jardin (niveau terre) quelle que soit la pente	En terrasse dalles sur plots (niveau d'étanchéité) pente 0 à 5 %
			En noue		Autre cas		
			Pente ≤ 20 %	Pente > 20 %			
Hauteur H	≥ 0,15 m	≥ 0,10 m	≥ 0,15 m	≥ 0,25 m	≥ 0,10 m	≥ 0,15 m	≥ 0,10 m
Hauteur H'	≥ 0,05 m	≥ 0,05 m	≥ 0,15 m	≥ 0,25 m	≥ 0,05 m	≥ 0,15 m	

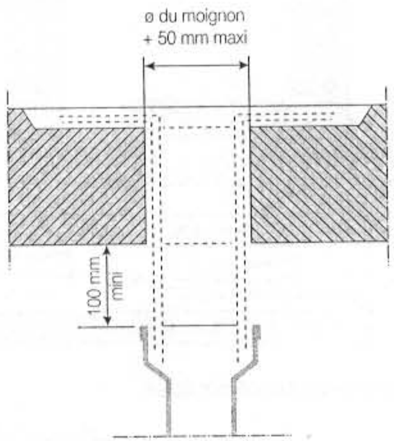
SOURCE : ÉTANCHÉITÉ DU BTP À BASE DE BITUME, CSNE/DTSB

ENTRÉE D'EAU PLUVIALE

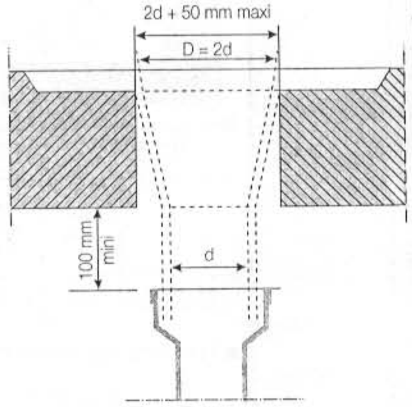
RÉSERVATION POUR ENTRÉE D'EAU PLUVIALE

Exemples sans isolant thermique

• **Moignon cylindrique**

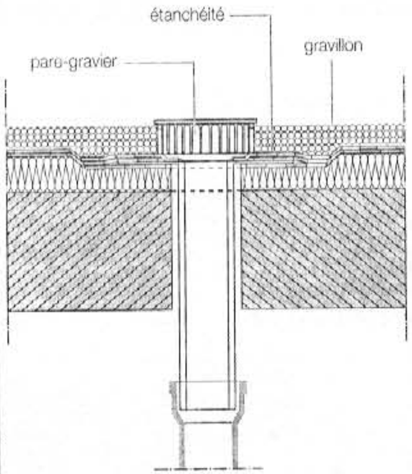


• **Moignon tronconique**

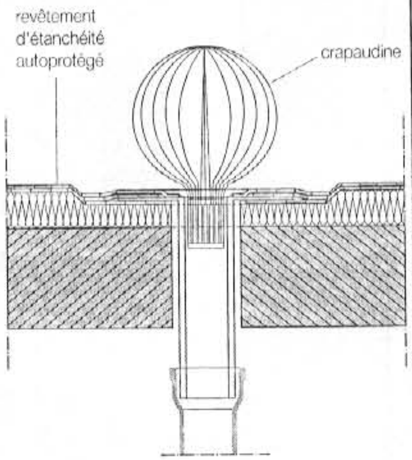


ENTRÉE D'EAUX PLUVIALES SUR UNE TERRASSE INACCESSIBLE

• avec une protection meuble



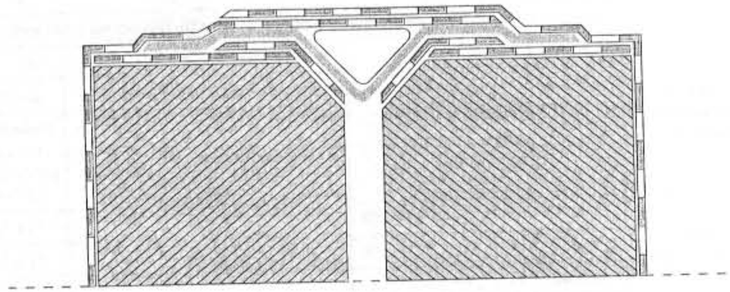
• avec un revêtement d'étanchéité autoprotégé



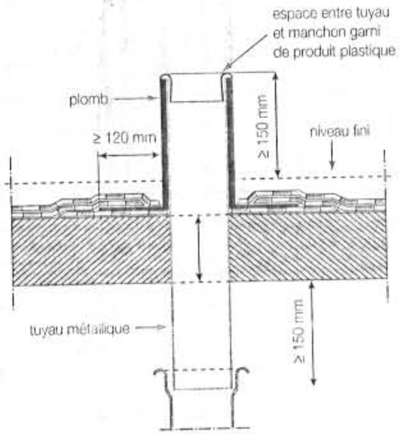
SOURCE : ÉTANCHÉITÉ DU BTP À BASE DE BITUME, CSNE/DTSB

AUTRES SINGULARITÉS

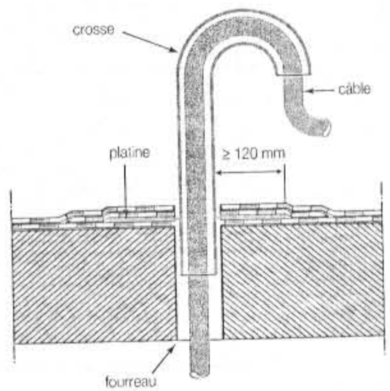
JOINT DE DILATATION COSTIÈRES BÉTON



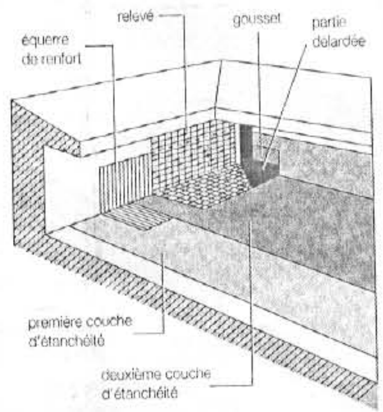
RACCORDEMENT AVEC CONDUIT DE VENTILATION



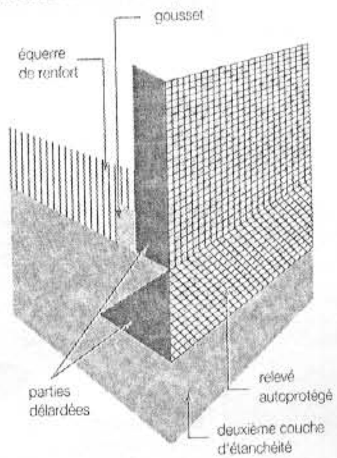
TRAVERSÉE DE CÂBLE



ANGLE SORTANT (deuxième phase)



ANGLE RENTRANT (deuxième phase)



SOURCE : ÉTANCHÉITÉ DU BTP À BASE DE BITUME, CSNE/DTSB

TRAVAUX DE RÉFECTION

• **Cas d'un ancien revêtement d'étanchéité support direct d'un nouveau revêtement.**

Ancien revêtement (Mode de pose du nouveau revêtement)					Autoprotégé adhérent	Autoprotégé semi-indépendant	Protection rapportée indépendant
Asphalte	avec protection rapportée						+
Asphalte	sans protection rapportée				+	+	+
Multicouche	Bitume oxydé et bitume élastomère S.B.S.	avec protection rapportée		système indépendant			+
Multicouche	Bitume oxydé et bitume élastomère S.B.S.	avec protection rapportée		système adhérent			+
Multicouche	Bitume oxydé et bitume élastomère S.B.S.	Autoprotection	granulé minéraux	armature imputrescible		+	+
Multicouche	Bitume oxydé et bitume élastomère S.B.S.	Autoprotection	granulé minéraux	armature putrescible		+	+
Multicouche	Bitume oxydé et bitume élastomère S.B.S.	Autoprotection	métallique	armature imputrescible – aluminium non délardé		+ (1)	+
Multicouche	Bitume oxydé et bitume élastomère S.B.S.	Autoprotection	métallique	armature imputrescible – aluminium délardé	+		+
Multicouche	Bitume oxydé et bitume élastomère S.B.S.	Autoprotection	métallique	armature putrescible – aluminium non délardé		+ (1)	+
Multicouche	Bitume oxydé et bitume élastomère S.B.S.	Autoprotection	métallique	armature putrescible – aluminium délardé			+
Multicouche	Ciment volcanique et enduit pateux						+

(1) Uniquement par fixations mécaniques.

• **Couche d'indépendance**

La double indépendance est obligatoire et conforme aux dispositions ci-dessous :

Ancien revêtement / Nouveau revêtement	Multicouche	Asphalte
Muticouche - bitume oxydé - bitume élastomère SBS	Voile de verre, (1) Ⓐ plus : • soit papier kraft ou feuille d'aluminium contre-collé en sous-face de la 1re couche d'étanchéité (2) • soit papier kraft libre (1) ou voile de verre (1)	Voile de verre, (1) plus : • papier entre deux sans fil
Asphalte	Papier entre deux sans fil, (1) Ⓐ plus : • soit papier kraft ou feuille d'aluminium contre-collé en sous-face de la 1re couche d'étanchéité (2) • soit papier kraft libre (1) ou voile de verre (1)	deux papiers kraft (1)
Enduit pâteux ou ciment volcanique	Feuille d'aluminium contre-collée sur un support (3) plus : • soit papier kraft ou feuille d'aluminium contre-collé en sous-face de la 1re couche d'étanchéité (2) • soit papier kraft libre (1) ou voile de verre (1)	sans objet

Ⓐ La permutation est permise.

(1) Le voile de verre 100 g, le papier entre deux sans fil et le papier kraft libre sont conformes aux spécifications des DTU de la série 43.

(2) Le papier kraft et la feuille d'aluminium contre-collés à la sous-face de la 1re couche d'étanchéité sont conformes aux spécifications des normes de la série P 843 relatives aux compléments d'indépendance.

(3) La feuille d'aluminium contre-collée sur un support présente les caractéristiques suivantes :
- qualité 1050 A ;
- épaisseur 0,02 mm mini.
Le support peut être : un voile de verre, un feutre bitumé...

SOURCE : RÈGLES PROFESSIONNELLES, CSNE/DTSB

8 CLOISONS

• **Les cloisons sont des parois verticales non porteuses, de faible épaisseur, qui participent :**
- à la partition des logements (délimitation des pièces) ;
- à la séparation entre logements différents ou entre logement et parties communes ;
- au doublage des murs extérieurs ou séparatifs.

• **Elles doivent néanmoins :**
- résister aux chocs ;
- pouvoir supporter des charges (lavabo, meuble de cuisine...) ;
- pouvoir être mobiles dans certains cas (bureaux modulables...).

8.1 CLOISONS EN ÉLÉMENTS HOURDÉS OU COLLÉS

CLOISONS EN BRIQUES

■ UTILISATION DES CLOISONS EN BRIQUE

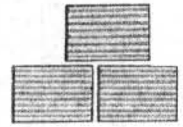
Elles sont utilisées en cloisons de distribution ainsi qu'en cloisons de doublage (DTU 20.1).

■ CARACTÉRISTIQUES DIMENSIONNELLES COURANTES DES BRIQUES

FAMILLE	E x H x L (cm)	E x H x L (cm)	E x H x L (cm)
Briques plâtrières	3,5 × 20 × 40 3,5 × 25 × 40 4 × 20 × 40 4 × 25 × 40	5 × 20 × 40 5 × 25 × 40 5 × 40 × 50 6 × 20 × 40	6 × 25 × 40 7 × 20 × 40 7 × 25 × 40 7,5 × 20 × 40 7,5 × 25 × 40

■ HOURDAGE À JOINTS VERTICAUX DÉCALÉS

(1/3 minimum de la longueur de la brique).
Le hourdage des briques à une seule rangée verticale d'alvéoles doit être réalisé au plâtre, au mortier bâtard (ciment + chaux) ou au mortier de chaux, à l'exclusion du mortier de ciment.



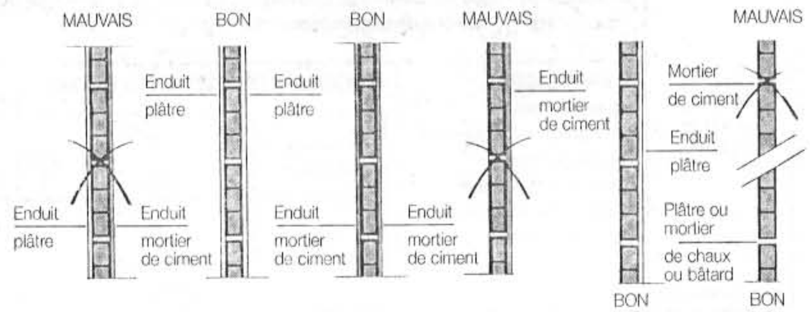
■ SEMELLE RÉSILIENTE

Prévoir une semelle en matériau résilient (épaisseur mini 10 mm) afin d'éviter une mise en compression excessive de la cloison.
Lorsqu'il est prévu une semelle en partie basse et une lisse en partie haute (désolidarisation acoustique), la somme de leurs épaisseurs a une valeur minimale de 10 mm.



■ ENDUITS

Sur les cloisons de distribution en briques à une rangée d'alvéoles, les enduits doivent être de même composition sur les deux faces ou au plâtre si une seule face est enduite.



DOC. MIGEON

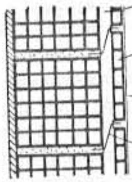
CLOISONS EN ÉLÉMENTS HOURDÉS OU COLLÉS

CLOISONS EN BRIQUES (suite)

■ CLOISONS DE DOUBLAGE

Elles sont revêtues d'un enduit à base de liant hydraulique et doivent être reliées à la paroi qu'elles doublent par des attaches (une tous les mètres dans chaque sens, ou à mi-hauteur si celle-ci ne dépasse pas 2,50 m).

Pour renforcer la tenue des cloisons de grande surface, il est généralement mis en place des raidisseurs (bois, béton, métal).



■ ÉPAISSEURS

Les épaisseurs minimales des cloisons avant enduit sont données en fonction de la hauteur de la paroi et de la distance entre éléments raidisseurs.

Épaisseur brute de la cloison (cm)	Hauteur maximale (m)	Distance horizontale maxi. entre raidisseurs (m)
3,5	2,60	5,00
4 à 5,5	3,00	6,00
6 à 7,5	3,50	7,00
8 à 11	4,00	8,00

Les hauteurs peuvent être augmentées si les surfaces entre raidisseurs ne dépassent pas les valeurs ci-contre.

Épaisseur brute (cm)	3,5	4 à 5,5	6 à 7,5	8 à 11
Surface maximum (m²)	10	14	20	25

■ RÉSISTANCE AU FEU DES PAROIS

La brique est totalement incombustible, donc classée M0 (cf. classification chapitre 20 « Prévention incendie » § 20.1).

Types de parois	Durée (classement)	
	Coupe-feu	Pare-flamme
Cloison en briques plâtrières, épais. 5 cm sans enduit.	30 min	–
Cloison en briques plâtrières, épais. 5 cm plus enduit plâtre de 1 cm sur la face exposée	1 h	–
Cloison en briques plâtrières, épais. 5 cm plus enduit plâtre de 0,5 cm sur la face exposée	1 h	–
Cloison en briques plâtrières, épais. 5 cm plus enduit plâtre de 1 cm sur chaque face	1 h 30	3 h
Cloison en briques plâtrières, épais. 5 cm plus enduit plâtre de 1,5 cm sur chaque face	2 h	–

DOC. MIGEON

CLOISONS EN BLOCS DE BÉTON CELLULAIRE

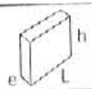
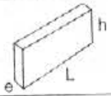
■ COMPOSITION

Ces blocs sont des éléments composés de sable à très forte teneur en quartz mélangé à un liant ayant subi un traitement thermique. Leur montage s'effectue à l'aide d'un mortier-colle spécifique. On les utilise en cloisons de distribution et doublage (NF P 14-306).

■ AVANTAGES

Légèreté (masse volumique ≃ 600 kg/m³)
Excellente qualité d'isolation thermique grâce à l'air emprisonné dans ses cellules.

■ FORMATS UTILISÉS EN CLOISONS

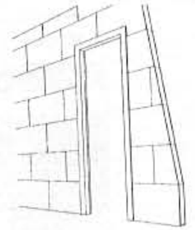
		e (cm)	L (cm)	h (cm)
Carreaux de cloison	 h, e, L	7 10 15	62,5 62,5 62,5	50 50 25
Dalles de cloison	 h, e, L	7 10 12,5 15	60 60 60 60	300 400 400 400

DOC. SIPOREX/HEBEL

CLOISONS EN BLOCS DE BÉTON CELLULAIRE (suite)

■ PRESCRIPTIONS D'EMPLOI

• **Montage des carreaux**

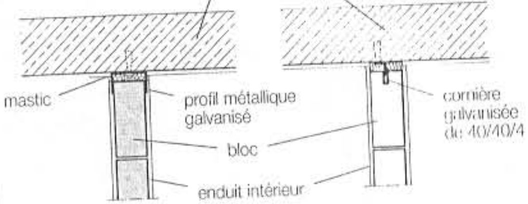


• **Profilé**
Positionnement d'un profilé plastique en U en pied de cloison dans les pièces humides.

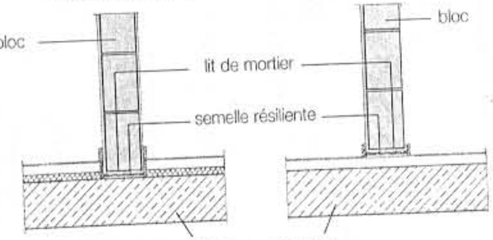
• **Finition**
Enduit intérieur au plâtre PFC et PFG (DTU 25.1) ou enduit mince à l'eau (épaisseur 2 à 3 mm).

■ JONCTIONS DIVERSES

• **Cloison avec plancher haut**



• **Plancher avec chape flottante** • **Plancher avec revêtement dur**



■ DIMENSIONS POSSIBLES DES CLOISONS EN FONCTION DE LEUR ÉPAISSEUR

Épaisseur brute de la cloison (cm)	Épaisseur finie de la cloison (cm)		Hauteur maximale (cm)	Distance horizontale maximale entre éléments raidisseurs (poteaux, parois perpendiculaires ou retour de cloison)
	Enduits			
	plâtre	minces		
7,0 10,0	9,5 12,5	7,5 10,5	260 320	40 fois l'épaisseur finie

■ RÉSISTANCE AU FEU : Le béton cellulaire est classé M0 (incombustible).

Protection au feu	Carreaux de 7 cm : coupe-feu 3 h	Carreaux de 10 cm : coupe-feu 6 h

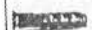
■ RÉSISTANCE THERMIQUE UTILE

(Masse volumique nominale – 450 kg/m³)

Épaisseur brute de la cloison (cm)	Épaisseur finie de la cloison (cm)		Résistance thermique utile (1) Ru (m² °C/W)
	Enduits		
	plâtre	minces	
7,0	9,0		0,48
		7,5	0,44
10,0	12,5		0,67
		10,5	0,62

(1) La résistance thermique des cloisons est calculée conformément aux spécifications du DTU Règles Th-K77.

■ FIXATION DES CHARGES

Mode de fixation	Charge admissible (daN)		Épaisseur mini du support (mm)
	Traction	Cisaill.	
 F5	2	5	70
F6	4	10	70
GB10	20	40	100
 GB12	30	50	150
GB14	50	80	150
 C50	1	5	70
C100	5	25	150
C150	15	60	200
C180	20	70	200

DOC. SIPOREX/HEBEL

CLOISONS EN CARREAUX DE PLÂTRE

■ COMPOSITION ET UTILISATION

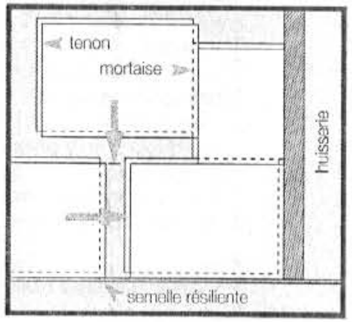
Ces carreaux sont des éléments à parements lisses, constitués de plâtre massif moulé.

Le montage se fait à la colle spéciale (PF3, Promonta).

Ils ne nécessitent pas d'enduit.

Ils sont utilisés en cloisons de distribution et doublage.

Principe de montage



■ AUTRES TYPES DE CARREAUX

- **le carreau alvéolé** en 6 et 7 cm d'épaisseur qui allège la charge au sol de 20 à 30 % ;
- **le carreau isolant thermique** (PF3 Isoplume) constitué d'un mélange de plâtre et de billes de polystyrène d'épaisseur 7 cm (résistance thermique R = 0,50 m^2 °C/W) ;
- **le carreau THD** (très haute dureté) de 7 à 10 cm d'épaisseur pour établissements scolaires, hospitaliers... ;
- **le carreau hydrofugé** de 5 à 10 cm d'épaisseur utilisé en salle de bains et pièces humides.

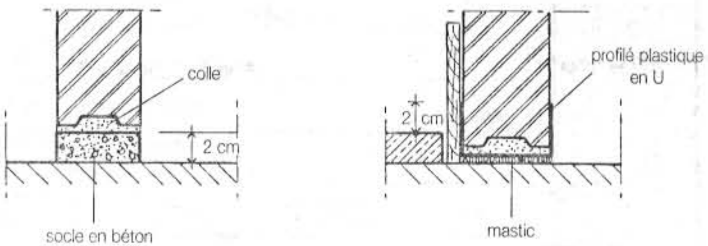
■ DIMENSIONS COURANTES

66,6 × 50 cm soit 3 carreaux au m^2 (66 × 38 en 100 mm d'épaisseur).

Épaisseurs (en mm) et caractéristiques	40	50	60	70	100	70 alvéolé	70 THD	100 THD
Cloisons de distribution		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Doublages (contre-cloison)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Cloisons séparatives			✓ en éléments constitutifs	✓	✓		✓ en éléments constitutifs	✓
Utilisations spéciales		cloison coupe-feu réhabilitation		cloison coupe-feu hospitalier/scolaire		réhabilit.	cloison coupe-feu scolaire	

■ MISE EN ŒUVRE PARTICULIÈRE

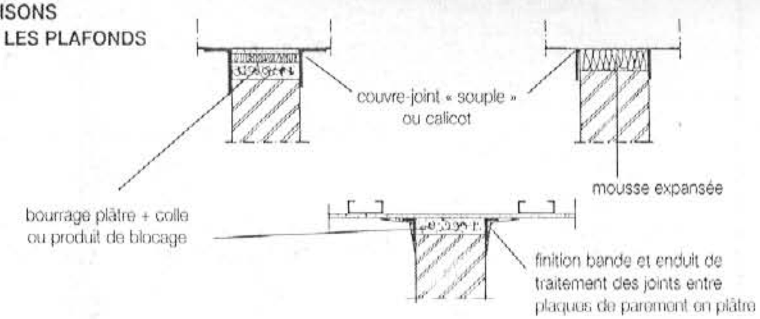
Liaison sol-cloison en pièces humides



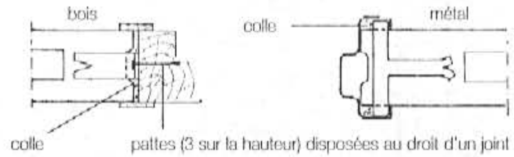
SOURCE : DTU 25.31 NF P 72-301

CLOISONS EN CARREAUX DE PLÂTRE (suite)

■ LIAISONS AVEC LES PLAFONDS



■ LIAISONS AVEC LES HUISSERIES



■ RÉSISTANCE AU FEU

Matériau incombustible classé M0 (voir chapitre 20)

Épaisseurs des carreaux pleins	5 (en cm)	6	7	10
Degré coupe-feu	2 h	3 h	4 h	6 h
Degré pare-flamme	2 h	4 h	4 h	6 h

■ COMPORTEMENT THERMIQUE

Épaisseurs en cm	5	6	7	10
Ru en m^2 °CW	0,10	0,13	0,15	0,22

■ COMPORTEMENT ACOUSTIQUE

Épaisseurs en cm	Montage	R (1) en dB(A)
5	non désolidarisé	35
6	non désolidarisé	35
7	non désolidarisé	35
	désolidarisé	37
10	non désolidarisé	39
	non désolidarisé	40

(1) Indice d'affaiblissement (voir chapitre 17).

SOURCE : DTU 25.31 NF P 72-301

8.2 CLOISONS EN ÉLÉMENTS DE HAUTEUR D'ÉTAGE

CLOISONS DE DISTRIBUTION EN PLAQUES DE PLÂTRE

On rencontre deux types de produits (DTU 25.41, NF P 72-302) :

- les cloisons **monobloc** utilisées dans les cas courants de distribution de pièces,
- les cloisons **sur ossature métallique** pour les cas courants ainsi que ceux nécessitant une isolation acoustique renforcée (séparation d'appartements contigus...).

■ CLOISONS MONOBLOC

Désignation	Placoplan 5A		Placoplan 6A	Placoplan 7B
Hauteur limite d'emploi (1)	2,60 m		3,60 m	3,60 m
Isolation phonique R en dB (A) (2)	31		31	33
Coupe-feu en mn (2)	15		15	30
Épaisseur en mm	50		60	72
Épaisseur des parements en mm	9,5		9,5	12,5
Largeur en cm	90	120	120	120
Longueur en cm	250	240 250 260	250 260 280 300	240 250 260 280 300 320 360
Poids moyen en kg/m^2	17,3	17,3	17,6	22,4

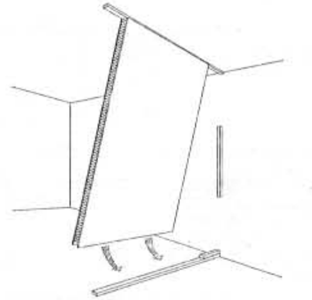
(1) Ne jamais superposer deux panneaux.
(2) Résultats obtenus dans des conditions normalisées d'essais avec panneaux de 1,20 m.

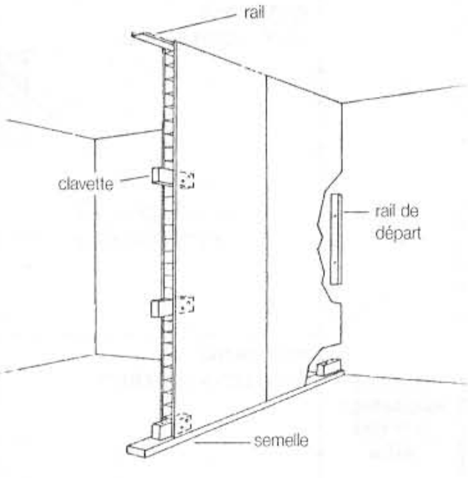
DOC. PLACOPLATRE

CLOISONS DE DISTRIBUTION EN PLAQUES DE PLÂTRE (suite)

• Mise en œuvre

Les cloisons sont mises en œuvre par emboîtement des panneaux entre un rail haut et une semelle basse en bois ou aggloméré. Les panneaux sont reliés entre eux et sur la semelle par des clavettes de liaisons.



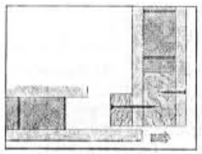


• Section des accessoires de liaison

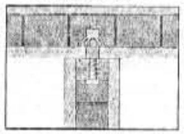
Type de cloisons	Semelle		Rail		Clavette
	Bois	Aggloméré	Bois	Aggloméré	Bois
Placopan 5A	27 × 48	24 × 48	18 × 28	18 × 28	29 × 50 × 200
Placopan 6A	27 × 58	24 × 58	18 × 38	18 × 38	39 × 50 × 200
Placopan 7B	27 × 70	24 × 70	18 × 45	18 × 45	45 × 50 × 200

• Points particuliers

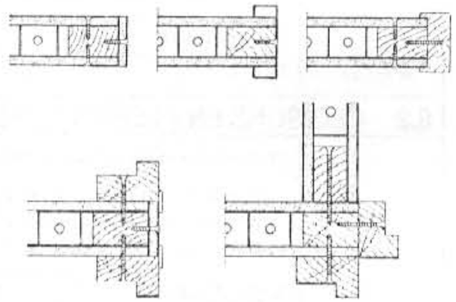
Jonction en L



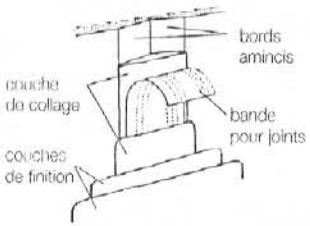
Jonction en T



• Baies libres et huisseries juxtaposées



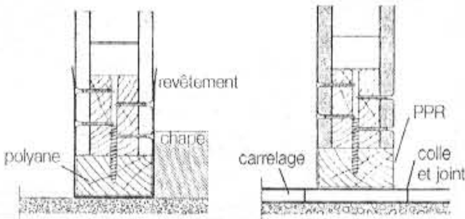
• Joint entre plaques de plâtre



• Protection en pièces humides

Pose sur sol brut

Pose sur sol fini

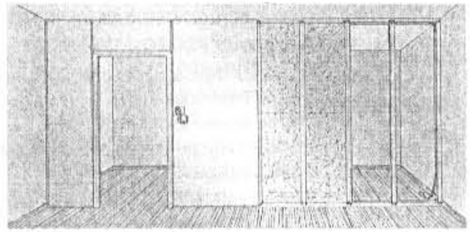


DOC. PLACOPLATRE

CLOISONS DE DISTRIBUTION EN PLAQUES DE PLÂTRE (suite)

■ CLOISONS SUR OSSATURE MÉTALLIQUE

Elles sont réalisées sur chantier par vissage de plaque de plâtre sur une ossature en acier galvanisé. En faisant varier ces éléments (nombre de plaques, largeur de rail, incorporation d'isolant, etc.), on obtient toute la gamme des cloisons de distribution courante, de grande hauteur ou séparatives entre logements, etc.



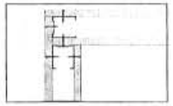
• **Caractéristiques d'une cloison de distribution courante** (Placostil 72/48)

Hauteurs maximales	2,60 m	2,80 m	3,00 m	3,30 m
Montants	simple	simple	doublés dos à dos	doublés dos à dos
Entraxe des montants	0,60 m	0,40 m	0,60 m	0,40 m
Épaisseur de la cloison finie	72 mm			
Poids	25 kg/m²			
Isolation acoustique *	R = 37 dB(A) (sans laine minérale) R = 40 dB(A) (avec laine minérale)			
Résistance thermique	Ru = 0,024 m² °C/W (sans laine minérale) Ru = 1,08 m² °C/W (avec laine minérale 45 mm)			
Protection incendie *	Coupe-feu : 1/2 heure			

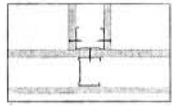
* *Résultats obtenus dans des conditions normalisées d'essai.*

ANGLES

Jonction en L



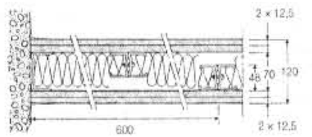
Jonction en T



• **Exemples de cloisons à hautes performances**

Séparation de logements (2 parements)

Épaisseur de la cloison : 120 mm
Hauteur limite d'emploi : 2,60 m
Poids approximatif : 50 kg/m²

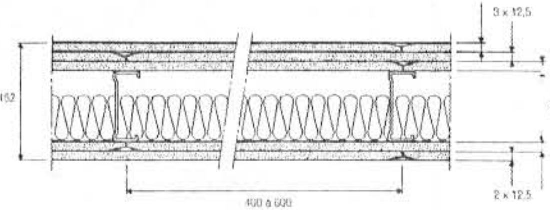


Isolation acoustique
R : 59 dB(A)

Résistance au feu (coupe-feu)
Plaque standard : 1 h
Stucal ou Placoflam : 2 h

Hôtellerie

Poids approximatif : 58 kg/m²



Isolation acoustique	Résistance au feu				Hauteur limite d'emploi en m			
R en dB(A)		Pare-flamme	Coupe-feu		entraxe 0,60 m		entraxe 0,40 m	
		Classement	Durée	Classement	]	I	]	I
58	• plaques standard • plaques Placoflam	1 h 30 2 h 00	1 h 30 2 h 00	1 h 30 2 h 00	4,60	5,40	5,10	6,00

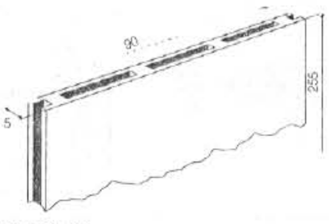
DOC. PLACOPLATRE

CLOISONS SÈCHES EN PARTICULES DE BOIS

UTILISATION

La majorité des ouvrages utilise le système constructif suivant :
- panneaux de 60 ou 90 cm de large (plus rarement 120),
- épaisseurs de 5 à 7 cm,
- fixations haute et basse par lisses en bois ou aluminium (vérins de réglage parfois incorporés)
- assemblage entre plaques par rainures et fausses languettes.

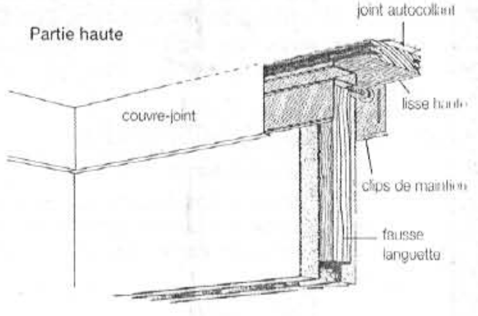
Coupe



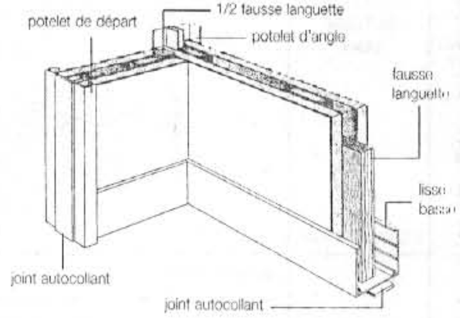
cotes en cm

Détails de mise en œuvre

Partie haute



Partie basse



DOC. CLOISOCÉAN

CLOISONS AMOVIBLES

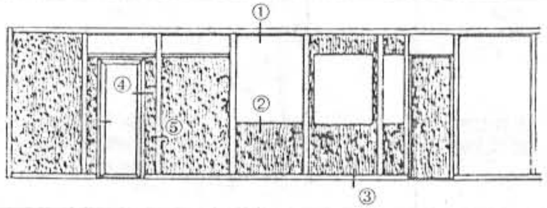
UTILISATION

Les éléments arrivent totalement finis sur le chantier. Ils sont facilement démontables et remontables sans dégradation et sont généralement interchangeables (panneaux pleins, panneaux vitrés, panneaux portes...). Deux systèmes constructifs sont utilisés : monobloc ou à ossature.

Les cloisons amovibles sont constituées de panneaux clipsés entre eux avec couvre-joint aluminium.

Nature et coloris du revêtement au choix.

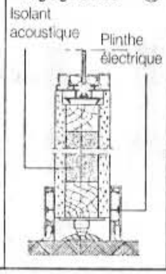
Adaptations : parties vitrées, placards, guichets, etc.



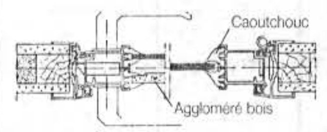
Coupe verticale ①



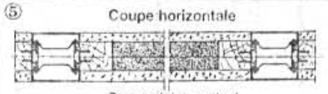
Réglage au sol ③



④ **Coupe horizontale sur porte**



⑤ **Coupe horizontale**



Couvre-joint vertical

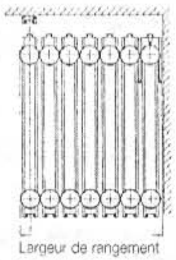
DOC. LUCHAIRE

CLOISONS MOBILES

UTILISATION

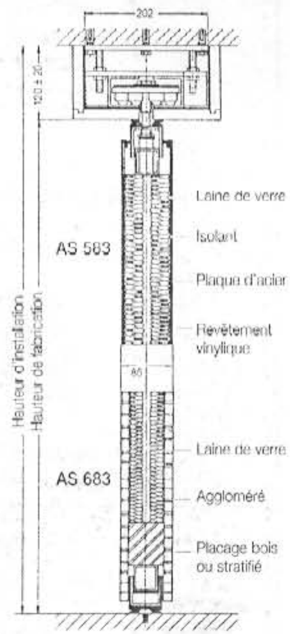
Ce sont des cloisons dont les éléments se déplacent dans un système fixe, solidaire du gros-œuvre, pour séparer ou réunir instantanément deux volumes contigus. Il existe deux systèmes constructifs principaux : les panneaux mobiles et les cloisons « accordéon ».

Exemple de cloison à panneaux mobiles, indépendants et interchangeables, suspendus par l'intermédiaire d'un ou deux chariots à roulement à billes sur rail acier, sans guide au sol.

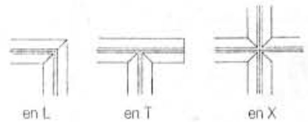


Calcul de l'encombrement
- Chaque panneau : 110 mm
- Avec mécanisme de compression dans un panneau : 120 mm
- Avec porte de service : 135 mm

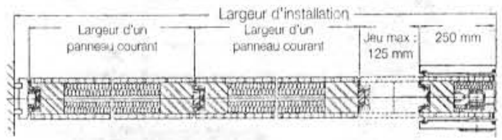
Coupe verticale



Intersection des chemins de roulement



Coupe horizontale avec mécanisme de compression fixé au mur
(peut être prévu sur un panneau)



DOC. FOUASSE

8.3 COMPLEXES ISOLANTS

PRÉSENTATION

Les complexes isolants résultent de l'association d'une plaque de plâtre et d'un isolant thermique ou thermique-acoustique répondant à la certification ACERMI et conforme à la norme NF P 75-101.
Pare-vapeur incorporé si nécessaire.

FIXATION (DTU 25-42)

• **Murs sains et plans :** directement sur les faces intérieures des murs par collage au mortier adhésif.

• **Murs présentant des défauts de planéité :** vissage sur des tasseaux en bois ou des profilés métalliques .

Tableau donnant la nature de l'isolant en fonction du type d'isolation recherchée

Isolation	Polystyrène expansé	Polystyrène extrudé	Polyuréthane	Laine de roche rigide
Thermique	●	●	●	
Thermique et acoustique				●
Classement au feu (1)	M4	M1	M4	M0

(1) Voir chapitre 20.

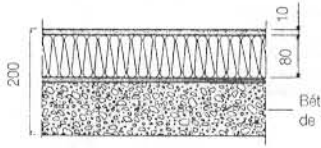
CARACTÉRISTIQUES, MISE EN ŒUVRE

■ **COMPARAISON THERMIQUE DES DIFFÉRENTS COMPLEXES UTILISÉS**

Résistance thermique utile : Ru en m² °C/W

Nature de l'isolant	Épaisseur de l'isolant (en mm)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Polystyrène expansé	0,68	0,93	1,13	1,38	1,58	1,83	2,03	2,23
Polystyrène extrudé	1,23	1,63	2,03	2,43	2,83	3,23	3,63	4,03
Polyuréthane	1,23	1,63	2,03	2,43	2,83	3,23	3,63	4,03
Laine de roche	0,88	1,18	1,48	1,73	2,03	2,33	2,58	2,88

■ **PERFORMANCES ACOUSTIQUES DES COMPLEXES UTILISANT LA LAINE DE ROCHE**
(exemple : collage sur un mur de béton de 10 cm d'épaisseur)

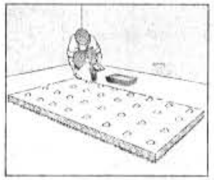


Parois	Isolation acoustique (1)	
	R (rose) en dB(A)	R (route) en dB(A)
mur nu	50	45
mur doublé avec PLN 10 + 50	58	52
mur doublé avec PLN 10 + 80	60	54

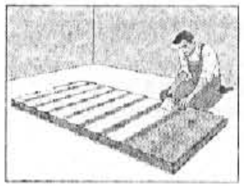
(1) cf chapitre 17

■ **COLLAGE DES COMPLEXES**

À base de polystyrène ou polyuréthane : plots tous les 30 cm environ.



À base de laine de roche : bandes de colle + plots.



■ **MISE EN PLACE**

Pose sur cales de 1 cm d'épaisseur (enlevées au bout de 24 h).

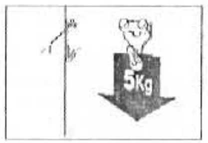




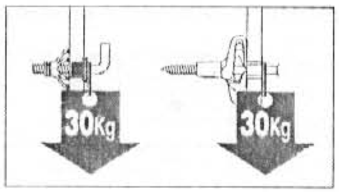
■ **TRAITEMENT DES JOINTS** (voir page 139)

■ **FIXATION DES CHARGES**

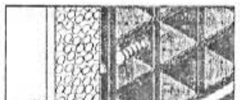
Crochet



Chevilles métalliques à expansion Placoplâtre — Chevilles 4 AS Placoplâtre



Au-dessus de 30 kg



DOC. CASTORAMA

9 PLAFONDS

Le plafond est la surface limitant le haut d'un local. Cette surface peut être :
- la sous-face du plancher supérieur ou d'une toiture habillée,
- un plafond indépendant exécuté au-dessous du plancher ou de la toiture qui masque la sous-face et réduit la hauteur du local.

9.1 PLAFONDS SUSPENDUS

EN PRODUITS DE TERRE CUITE

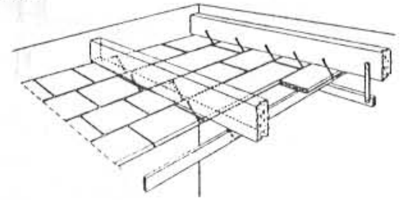
■ **DESCRIPTIF**

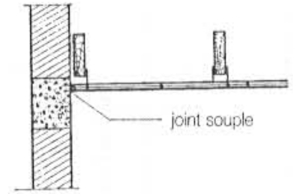
Éléments creux de faible épaisseur (2 à 3 cm) suspendus par des systèmes d'accrochage non rigide à un plancher, une charpente ou une poutraison spécialement prévue (DTU 25.231).



■ **FINITION**

Elle s'effectue généralement à l'aide d'un enduit au plâtre. Le coût élevé d'une main-d'œuvre très spécialisée ainsi que la lenteur d'avancement des travaux réduisent la fréquence d'utilisation de ces plafonds.



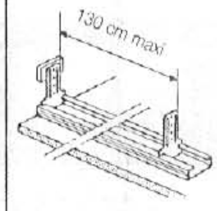


SOURCE : DTU 25.231

EN PLAQUES DE PLÂTRE

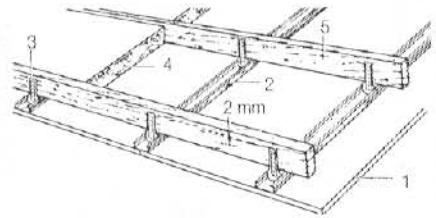
■ **DESCRIPTIF**

Plafonds constitués de plaques de 10 ou 13 mm vissées perpendiculairement sur un contrelattage métallique clipsé sur des suspentes préalablement fixées sur le support (fermettes, solivage bois, plancher béton...). Traitement des joints identique aux cloisons de même type, § 8.3.
Possibilité d'utiliser des plaques classées M0 (coupe-feu 2 heures sous plancher bois).
La pose d'un isolant thermique éventuel et le passage des gaines électriques se fait après la mise en place du contrelattage et avant le vissage des plaques.

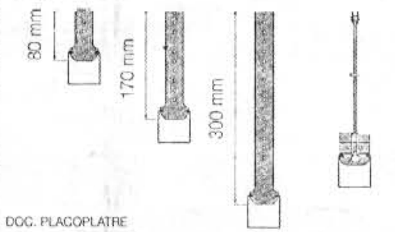


DTU 25.41

1. plaque de plâtre
2. ossature métallique
3. suspente
4. isolant
5. ossature primaire

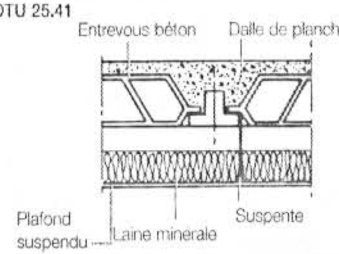


Suspentes



DOC. PLACOPLATRE

DTU 25.41



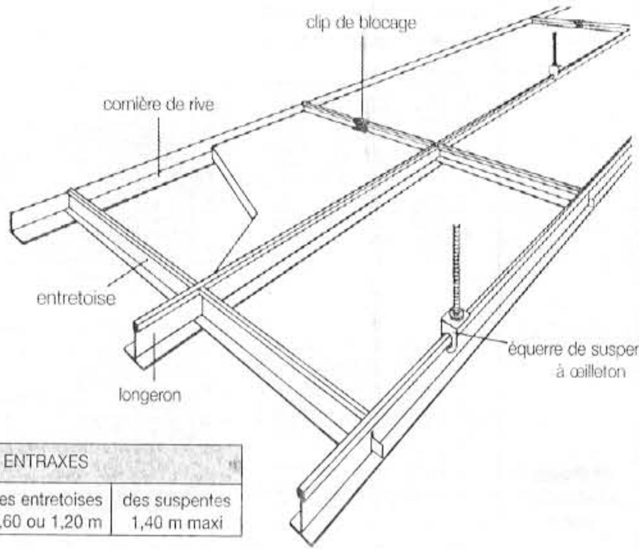
DÉMONTABLES, SUR OSSATURE APPARENTE

■ OSSATURE EN ACIER GALVANISÉ LAQUÉ

Plafonds constitués d'une ossature apparente en acier galvanisé laqué et de plaques de plâtre (1 195 × 595 mm ou 595 × 595 mm, épaisseur 12,5 mm) revêtues de vinyle granité lessivable (doc. Placoplâtre).

Les plaques sont posées sur l'ossature et bloquées par des clips.

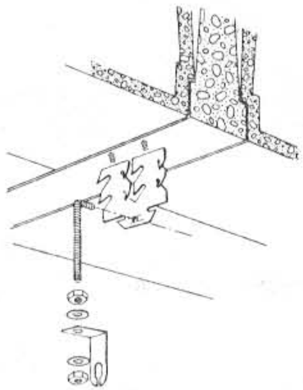
Les luminaires de module standard sont intégrés sans adaptation particulière, les plaques peuvent subir les démontages et remontages permettant l'accès au-dessus du plafond.



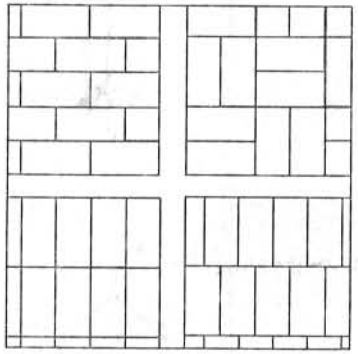
ENTRAXES		
des longerons	des entretoises	des suspentes
0,60 ou 1,20 m	0,60 ou 1,20 m	1,40 m maxi

La suspension des longerons à la structure (solivage bois, charpente métallique, plancher béton...) est assurée par des tiges filetées (DTU 58-1, NF P 01-101).

■ FIXATION SOUS UN PLANCHER POUTRELLES ET ENTREVOUS



■ EXEMPLES D'APPAREILLAGE DES PLAQUES



■ DOMAINE D'EMPLOI

En locaux non résidentiels y compris en ambiance humide, partout où le classement au feu M1 est exigé.

DOC. PLACOPLATRE

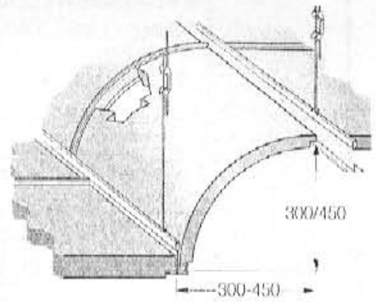
PLAFONDS CINTRÉS

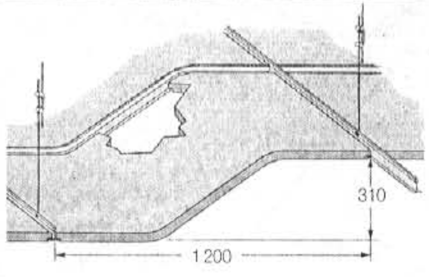
■ DOMAINE D'EMPLOI

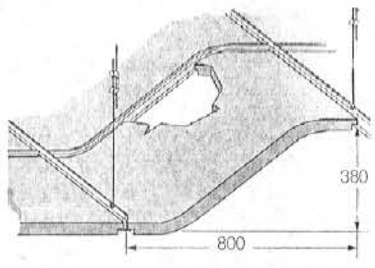
Locaux non résidentiels, lorsqu'on recherche une solution technique moderne ou un parti pris architectural mettant en œuvre des décalages de plafonds.

■ MISE EN ŒUVRE

Mise en œuvre identique à la précédente. Les panneaux sont le plus souvent en laine de verre, leur face visible étant peinte ou surfacée. Des entretoises spécifiques permettent de relier deux plafonds de niveau différents.







DOC. ECOPHON

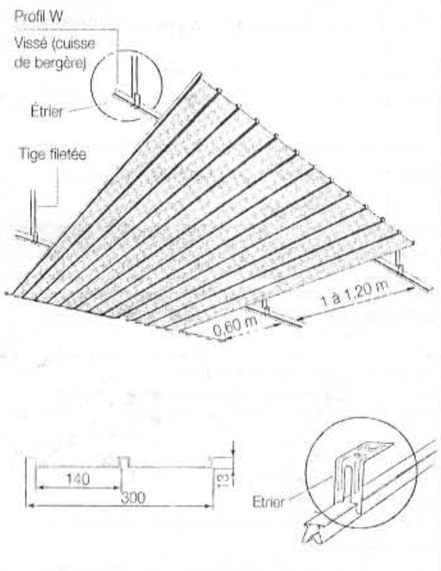
PLAFONDS MÉTALLIQUES

- **Domaine d'emploi :** bureaux, magasins, usines...
- **Structure**

Ils sont généralement constitués de lames en acier ou aluminium laqué emboîtées dans une structure suspendue. La plupart bénéficient d'un classement au feu M0.

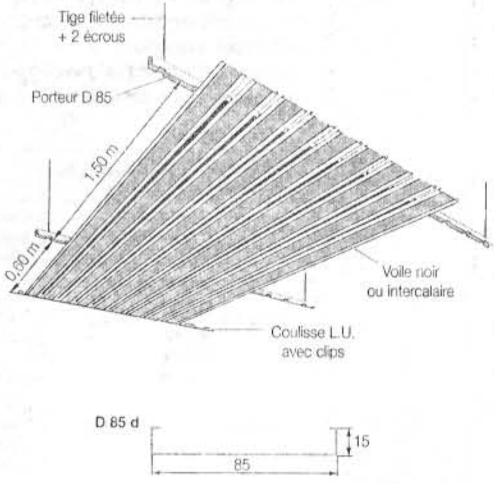
DOC. DIAMANT

■ PLAFOND À LAMES JOINTIVES



■ PLAFOND À LAMES NON JOINTIVES

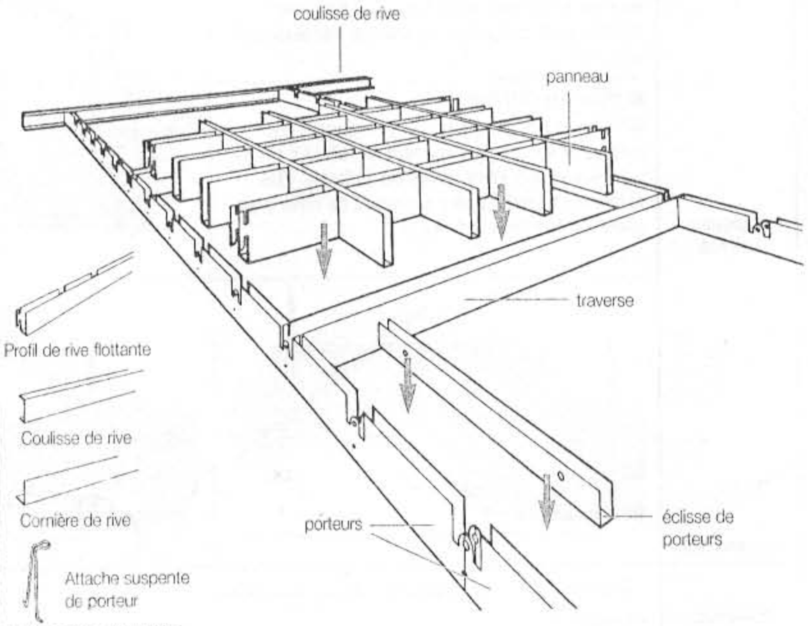
(avec interposition d'un film ou d'un voile anti-poussière)



PLAFONDS MÉTALLIQUES (SUITE)

■ PLAFONDS À « CLAIRE-VOIE »

Nombreux types : à lames verticales, à structure nid d'abeille, à lamelles suspendues, etc.



• **Domaine d'emploi**

Centres commerciaux, halls d'accueil, partout où le maître d'œuvre désire conserver la totalité du volume de l'ensemble à équiper.

DOC. DIAMANT

PLAFONDS ACOUSTIQUES

■ FONCTIONNEMENT D'UN PLAFOND ACOUSTIQUE

Ces plafonds répondent aux exigences d'isolement acoustique entre locaux ou d'atténuation des temps de réverbération dans un local.

On utilise plus particulièrement 3 types de panneaux :

- des plaques ou dalles de plâtre rainurées ou perforées revêtues au verso d'un voile de fibres de verre (Knauf, Placoplâtre...),
- des panneaux de fibres de bois résineux, minéralisées et enrobées de liant (Fibracoustic...),
- des panneaux de laine de verre revêtus d'une surface granitée ou peinte (Ecophon...).

Fréquences à absorber	Nature de l'effet	Principe
Graves	Membrane	L'énergie acoustique est absorbée par déformation du panneau. Importance de la distance entre le panneau et la paroi support (plénum).
Médiums	Résonateur	L'énergie est absorbée par effet ressort dans : - les perforations ou rainures des plaques de plâtre, - les interstices entre fibres (bois et laine de verre).
Aigues	Dissipateur	L'énergie est absorbée par : - le voile de verre des plaques de plâtre, - les fibres (bois et laine de verre). L'absorption est améliorée par la présence d'un matelas de laine minérale dans le plénum.

DOC. PLACOPLATRE

PLAFONDS ACOUSTIQUES (suite)

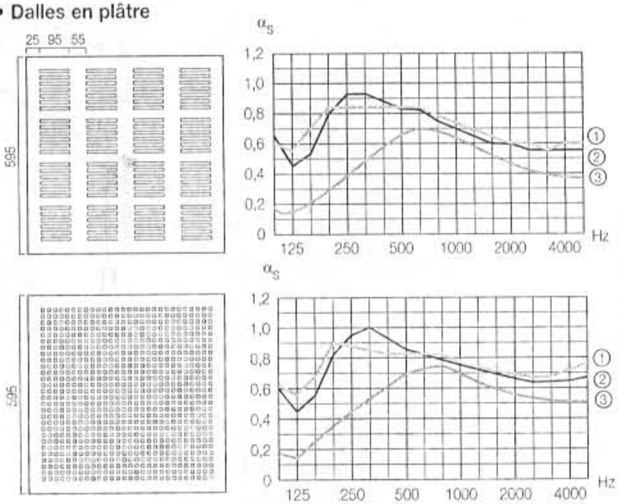
■ MISE EN ŒUVRE

La fixation de ces divers éléments se fait à l'aide d'une ossature en acier galvanisé apparente ou cachée et de suspentes réglables spécifiques à chaque fabricant.

La norme ISO 354 définit un coefficient d'absorption acoustique α auquel correspond un temps de réverbération. Les fabricants fournissent les courbes de leurs différents matériaux (voir quelques exemples ci-dessous).

■ EXEMPLES D'ÉLÉMENTS

• **Dalles en plâtre**

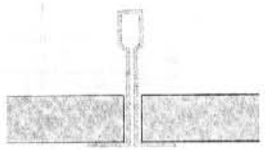


① Lame d'air 0,3 m – laine minérale 0,08 m
② Lame d'air 0,1 m – laine minérale 0,08 m
③ Lame d'air 0,1 m – sans laine minérale

• **Fixation des dalles**

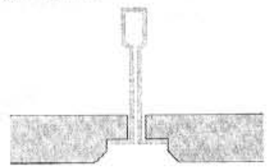
Bord A

Bord franc pour mise en œuvre sur ossature apparente de 24 mm.

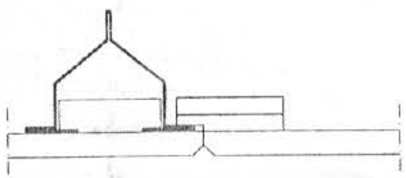


Bord E

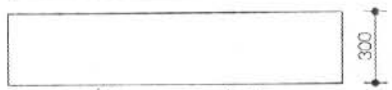
Bord feuilluré pour mise en œuvre sur ossature semi-apparente de 15 mm.



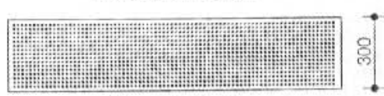
• **Éléments autoporteurs en plâtre**



Longueurs : 1200 mm – 1500 mm – 800 mm
2100 mm – 2400 mm



Élément non perforé



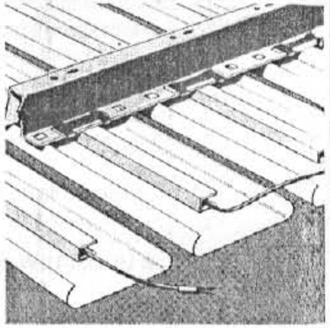
Élément perforé

DOC. PLACOPLATRE

PLAFONDS CHAUFFANTS

■ FILS ÉLECTRIQUES BLINDÉS

L'incorporation d'un serpentin de fils électriques blindés chauffants sur un plafond suspendu à lames métalliques (plafond radiant) assure un chauffage basse température (environ 30° C). Les lames, de grande conductivité thermique, en contact avec la source chaude assurent l'émission des calories. Un isolant thermique est placé sur le plafond pour réduire les déperditions thermiques vers le haut.



Type	Puissance (W)	Longueur du câble chauffant (m)
DEL 700	700	35
DEL 1 100	1 100	55
DEL 1 400	1 400	69
DEL 1 800	1 800	86

Régulation : par thermostat d'ambiance ou mieux par thermostat modulant.

■ FILMS CHAUFFANTS

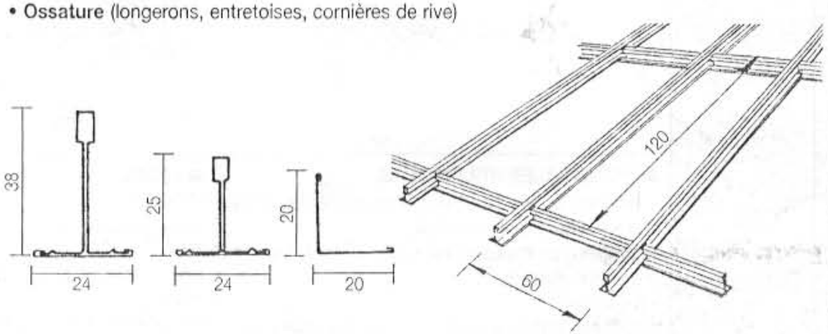
• **Constitution type**





- Plaques de plâtre revêtues PVC tissu, ou panneaux bois décoratifs de vermiculite de 59,5 x 119,5 cm.
- Films chauffants collés sur la plaque de plâtre, de bois, de vermiculite. Ces films sont constitués par une résistance « carbone » enfermée dans une double enveloppe polyester (double sécurité et isolement) et ont les caractéristiques suivantes (conforme aux prescriptions provisoires UTE C 15-720) :
  - tension d'alimentation : 230 volts,
  - puissance surfacique : 150 W/m², 175 W/m², 200 W/m² (suivant hauteur des locaux),
  - épaisseur du film : 0,143 mm,
  - masse surfacique : 0,22 kg/m²,
  - tolérance sur la valeur de la résistance ± 5 %,
  - sorties froides pour raccordements électriques,
  - matelas de fibre minérale de forte densité de 50 mm d'épaisseur,
  - les panneaux neutres (non chauffants) ne comportent pas de films.

• **Ossature** (longerons, entretoises, cornières de rive)



DOC. PROCATHERM

■ DOMAINE D'EMPLOI : bâtiments du secteur tertiaire, salles de réunions, restaurants, etc.

PLAFONDS EN STAFF

■ MISE EN PLACE

Le staff est obtenu par moulage mince d'un plâtre à mouler armé de fibres, toiles ou treillis. Préfabriqué par éléments, l'ouvrage en staff (plaques, rosaces, corniches...) est mis en place par juxtaposition, scellement au plâtre et rejointoiement.
Norme DTU 25.51, NF P 73-201-1, NF P 73-301.

■ DOMAINE D'EMPLOI

Il s'agit d'une technique très ancienne, demandant une main-d'œuvre extrêmement qualifiée, qui n'est plus guère employée qu'en réhabilitation ou restauration d'ouvrages classés ainsi qu'en réponse à des prescriptions particulières de maîtres d'œuvre.

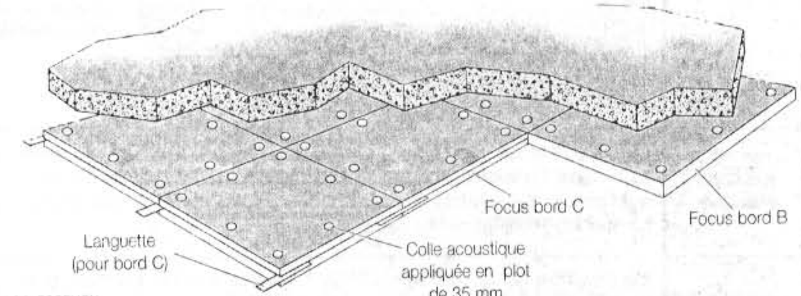
9.2 AUTRES TYPES DE PLAFONDS

PLAFONDS COLLÉS EN DALLES

■ MISE EN PLACE

Le collage des dalles nécessite un support lisse, propre et sec (béton, plâtre, bois). Lorsque le support est peint ou douteux, un test de collage est recommandé.
Les dalles employées sont généralement en polystyrène ou fibre de verre, la face vue étant décorée (empreintes diverses) ou peinte.

Exemple : panneaux en fibre de verre



DOC. ECOPHON

PLAFONDS ENDUITS AU PLÂTRE

Exécutés en sous-face d'une dalle en béton armé (surface possédant une bonne planéité) un simple enduit de lissage conviendra : épaisseur de 3 à 5 mm.
Sous un plancher à poutrelles et entrevous, un enduit de 10 à 15 mm sera nécessaire.

PLAFONDS TENDUS

■ PRINCIPE

Film plastique tendu sur des lisses d'accrochage fixées sur les parois en périphérie du local à traiter.

■ MISE EN PLACE (système Barrisol)

1. Fabrication sur mesure en usine avec réservations pour luminaires, dispositifs de climatisation, de sécurité, etc.
2. Fixation des rails d'accrochage du plafond.
3. Mise en température de la pièce à équiper (machine dégageant de la vapeur).
4. Accrochage du film sur les lisses périphériques.
5. La mise en tension et le surfaçage du plafond se réalisent automatiquement par refroidissement naturel du local.

■ AVANTAGES PRINCIPAUX

Utilisable pour tous types de locaux aussi bien en neuf qu'en réhabilitation : rapidité de mise en œuvre (une journée pour un appartement type 3), classement au feu M1, pare-vapeur, étanche à l'eau, lavable, suppression de la finition de plafond (peinture), décrochable et repositionnable, etc.

10 MENUISERIES DU BÂTIMENT

10.1 PRINCIPALES CERTIFICATIONS DES PRODUITS

En plus du label NF garantissant la conformité d'un produit aux normes définies par l'AFNOR, différentes certifications s'appliquent à des produits spécifiques. Elles sont délivrées par des organismes agréés par les pouvoirs publics.

AVIS TECHNIQUE

Les produits pour lesquels les normes NF n'existent pas et qui ont subi avec succès les tests du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.
Ils portent la marque CSTB.

ÉTANCHÉITÉ ET RÉSISTANCE

Ces deux critères s'expriment à l'aide d'un classement AEV (air, eau, vent).

- **Perméabilité à l'air**
S'exprime par un classement croissant A1, A2 ou A3.
Plus le niveau est élevé, plus l'isolation est importante.

- **Étanchéité à l'eau**
S'exprime par un classement croissant E1, E2, E3 ou EE. Exemple : pour un niveau E2, aucune infiltration d'eau par une pluie d'un débit de 60 litres par m^2 pendant 35 min sous un vent continu de 90 km/h.

- **Résistance au vent**
S'exprime par un classement croissant V1, V2 ou VE.
Exemple : pour un niveau V2 : résiste à des vents en rafales de 190 km/h.

Le label CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement) certifie ces performances.

ISOLATION PHONIQUE

Elle s'exprime par un niveau d'affaiblissement en décibel (A) bruit route* (cf. chapitre 17) correspondant à un classement AC de 1 à 4. L'intensité sonore à l'intérieur d'une habitation doit approcher d'un niveau de 35 à 37 dB (A).
Le label ACOTHERM certifie ces performances.

ISOLATION THERMIQUE

Elle s'exprime par un classement Th de 1 à 6, plus le chiffre est élevé, plus l'isolation thermique est importante.
Le label ACOTHERM certifie ces performances.

EXEMPLE DE MARQUAGE

Fenêtre PVC

CSTB et AT -71-631

Classement = A_3 E_1 V_2

Classement ACOTHERM = AC1 Th (vitrage 4.12.4)

VITRAGES ISOLANTS

Ils portent le numéro du certificat de qualification ainsi que le logo CEKAL.

CEKAL VITRAGE ISOLANT DE QUALITÉ

RÉSISTANCE À L'EFFRACTION

Les verrous et serrures sont homologués par l'APSAD qui délivre le label.

Normes A2P	a2p	a2p	a2p
Significations	Résistance de 5 minutes	Résistance de 10 minutes	Résistance de 20 minutes

10.2 MATÉRIAUX UTILISÉS

BOIS

C'est toujours le matériau le plus employé (NF B 53-510), tous les ouvrages de menuiserie du bâtiment peuvent être confectionnés à partir des différentes essences que l'on classe en deux grandes familles :

- **Les résineux :**
Pin, sapin, mélèze, hemlock...

- **Les feuillus :**
1. des régions tempérées : chêne, frêne, châtaignier, hêtre...
2. des régions tropicales : sipo, iroko, niangon, okoumé...

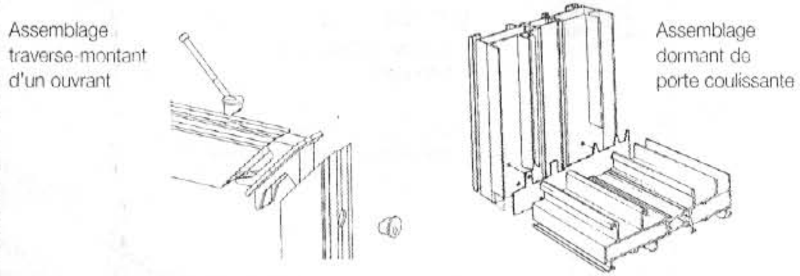
Le bois demande un entretien régulier à base de peinture, vernis, lasure... la périodicité variant avec le produit ainsi qu'avec la fonction et la situation de l'ouvrage.

UTILISATION DANS LE BÂTIMENT DES PRINCIPALES ESSENCES

	cèdre rouge	épicéa	hemlock	pin maritime	pin sylvestre	mélèze	pitchpin	peuplier	châtaignier	merisier	noyer	hêtre	frêne	chêne	okoumé	framiré	sipo	iroko	niangon
Menuiserie extérieure	★			★	★	★	★		★					★			★		★
Menuiserie intérieure	★		★	★	★	★	★	★	★				★	★		★	★	★	★
Contreplaqué								★				★			★				
Parquet				★	★		★		★										
Placage décoration										★	★		★				★		
Coffrage		★		★															
Charpente		★		★		★								★					

ALUMINIUM

On utilise des profilés obtenus par extrusion, découpés et assemblés entre eux par des systèmes mécaniques propres à chaque fabricant. La finition est assurée par anodisation ou laquage (NF A 50-411).



PRINCIPALES UTILISATIONS

- fenêtres, portes-fenêtres, portes (entrée, garage),
- volets (roulants en général),
- garde-corps (balcons, escaliers),
- portails, clôtures,
- vérandas.

Possibilité d'utiliser des profilés comportant des coupures de ponts thermiques pour les ouvrages le nécessitant.

LABEL

L'aluminium bénéficie en outre de deux labels spécifiques concernant sa finition.

EWAA : label de qualité pour la finition par anodisation de l'aluminium

QUALICOAT : label de qualité pour les revêtements par thermolaquage de l'aluminium destiné à l'architecture

DOC. TECHNAL

PVC (POLYCHLORURE DE VINYLE)

■ UTILISATION

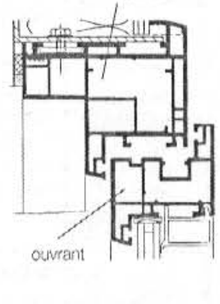
On utilise divers profilés rigides obtenus par extrusion, teintés dans la masse (blanc le plus souvent).

Principalement employé pour la réalisation de :

- fenêtres, portes-fenêtres, portes de garage,
- volets roulants, persiennes,
- portails, clôtures.

Les profilés utilisés pour les fenêtres sont de conception à multi-chambres assurant une isolation thermique et acoustique optimale. Leur assemblage se fait par thermosoudure éliminant tout risque d'infiltration d'eau.

Les ouvrages de grandes dimensions (portes-fenêtres...) nécessitent des montants et traverses renforcés par des profilés en acier galvanisé.



Coupe verticale sur fenêtre

ACIER

■ UTILISATION

Moins employé depuis l'apparition de l'aluminium et du PVC, il subsiste encore dans quelques bâtiments industriels pour des ouvrages tels que portes de service, portes de garage, etc. (DTU 37.1). On l'utilise plus couramment pour les clôtures, portails et barreaudages divers.

■ PRÉSENTATION

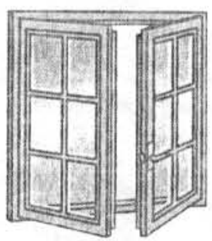
- profilés ordinaires (cornières, té, fer à plat...),
- profilés spéciaux laminés à chaud (UTMM),
- profilés en forme de tôle formés à froid.

10.3 SPÉCIFICATIONS COMMUNES AUX OUVRAGES DE MENUISERIE

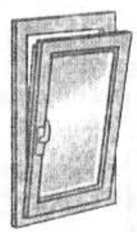
TYPES D'OUVERTURE

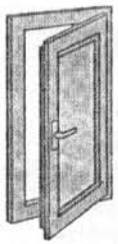
La très grande majorité des fenêtres et portes-fenêtres que l'on rencontre en France possède un système d'ouverture du type ci-dessous :

• À la française

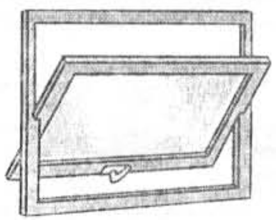


• Oscillo-battante

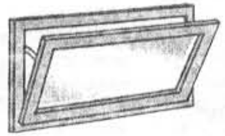




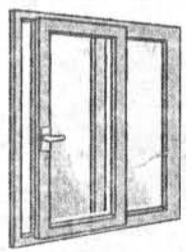
• Basculante



• Abattante



• Coulissante



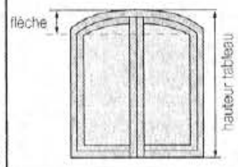
■ AUTRES SYSTÈMES

D'autres systèmes existent (à l'anglaise, à guillotine, à l'australienne...) mais connaissent une diffusion restreinte en France.

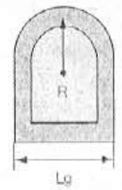
DOC. CASTORAMA

OUVRANTS PARTICULIERS

Fenêtre à 2 vantaux avec arc surbaissé



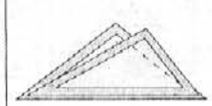
Châssis plein cintre



Œil de bœuf



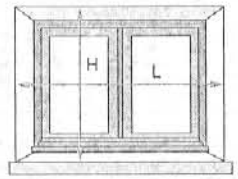
Houteau

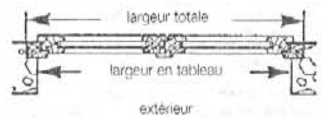


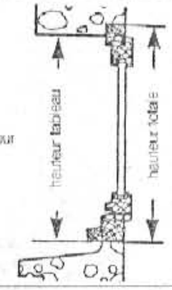
DOC. GIMM BATI-MAN

CARACTÉRISTIQUES DIMENSIONNELLES PRINCIPALES DES PORTES ET FENÊTRES

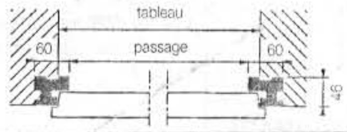
H = hauteur en tableau ou hauteur nominale de baie
L = largeur en tableau ou largeur nominale de baie
(NF P 01-005, P 20-401)







En ce qui concerne les portes, en plus des cotes ci-dessus, il est important de connaître les largeurs et hauteurs de passage qui représentent les dimensions utilisables de l'ouvrage. Ci-contre, exemple de largeur de passage.

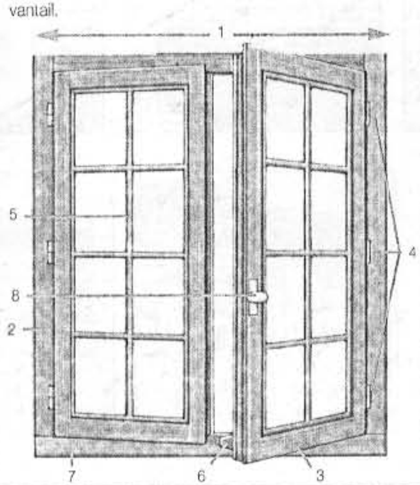


DOC. CASTORAMA ET LAPEYRE

VOCABULAIRE SPÉCIFIQUE DES OUVRANTS

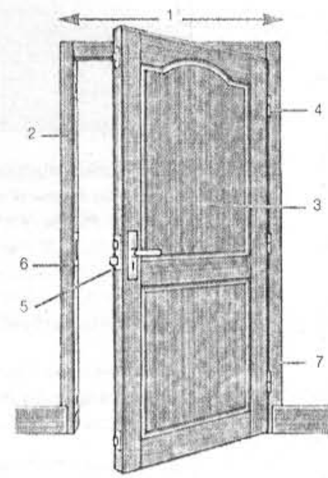
■ FENÊTRE

1. Tableau.
2. Dormant. Cadre scellé dans le mur qui reçoit la fenêtre ou la porte-fenêtre.
3. Vantail ouvrant. Partie mobile de la fenêtre.
4. Fiche ou paumelle. Support et articulation du vantail.
5. Petit bois ou croisillons. Structure bois ou PVC, fixe ou amovible.
6. Jet d'eau. Pièce de l'ouvrant destinée à rejeter l'eau vers l'extérieur.
7. Pièce d'appui. Embase du dormant.
8. Crémone.



■ PORTE

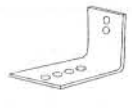
1. Tableau. Ouverture au nu de la maçonnerie.
2. Bâti dormant ou dormant tout court. Cadre scellé dans le mur qui reçoit la porte.
3. Vantail ouvrant. Partie mobile de la porte.
4. Fiche. Articulation métallique de la porte.
5. Pêne. Pièce mobile qui verrouille la porte.
6. Gâche. Pièce dans laquelle s'engage le pêne.
7. Joint périphérique.



DOC. GIMM

FIXATION DES MENUISERIES

Supports	Types
Maçonnerie béton armé	Pattes à scellement Équerres + chevilles
Bois	Pattes vissées
Métal	Pattes vissées



Équerre en acier zingué



Pattes à scellement

DOC. PINAULT

POSITION DES SCELLEMENTS	1 vantail 40 à 80	2 vantaux 80 à 150	3 vantaux 180 à 240
45 à 75	150 / 150		
95 à 105	210 / 210		
115 à 175	210 / 1/2 / 1/2 / 210		
185 à 225	210 / 1/3 / 1/3 / 1/3 / 210		

■ ÉTANCHÉITÉ SUPPORT-MENUISERIE

Elle est obtenue par un calfeutrement réalisé sur le pourtour de la jonction.

Pose	Calfeutrement
En feuillure (figure 1)	Bourrage de mortier de ciment
En applique avant enduit (figure 2)	Dressage au mortier + cordon de mastic à la pompe
En applique après enduit (figure 3)	Mastic élastomère + fond de joint

Figure 1

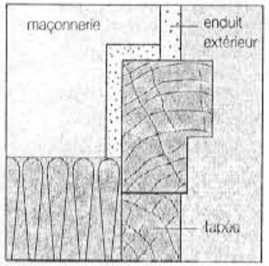


Figure 2

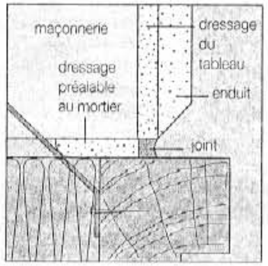
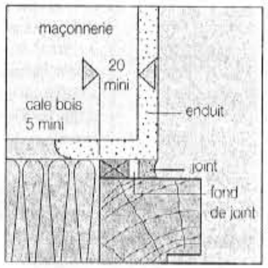
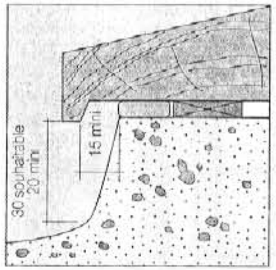


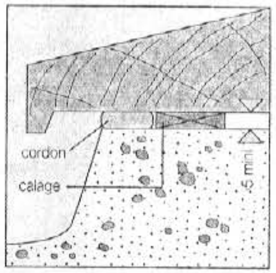
Figure 3



Sous la pièce d'appui d'une fenêtre ou le seuil d'une porte, on réalise l'étanchéité avant la pose de l'élément au moyen d'un cordon de mastic préformé ou d'une bande mousse imprégnée.

Il faut absolument assurer la continuité entre les étanchéités verticales et horizontales.

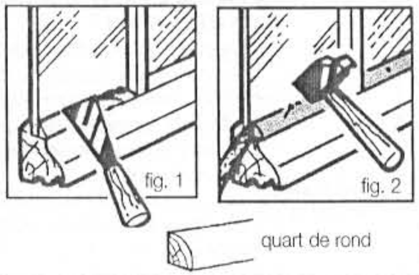




DOC. UNCMI – QUALITÉ ET CONSTRUCTION

SIMPLES VITRAGES

Les simples vitrages ne sont plus utilisés que dans les menuiseries intérieures (portes), les menuiseries extérieures desservant un local non chauffé (fenêtre de garage ou cave...) et quelques remplacements de vitres sur d'anciennes croisées. Ils avaient en général 4 mm d'épaisseur et se posaient à l'aide de mastic (fig. 1) ou avec quart de rond et mastic en ruban (fig. 2).

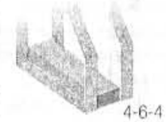


DOUBLES VITRAGES STANDARD

■ DOUBLES VITRAGES

Les doubles vitrages, dont l'emploi s'est généralisé, offrent de bien meilleures performances thermique et acoustique.

■ DOUBLE VITRAGE 14 MM



A2 E2 V2
Th4

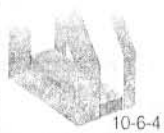
■ DOUBLE VITRAGE 20 MM



A2 E2 V2
AC1 : affaiblissement acoustique de 29 dB (A) route.
Th5 : gain de pouvoir isolant de 10 % par rapport à la plupart des fenêtres isolantes.

DOUBLES VITRAGES SPÉCIFIQUES

■ ACOUSTIQUE : L'augmentation d'épaisseur de l'une des vitres permet d'affaiblir le niveau sonore dans la pièce de réception (on arrive à une diminution de moitié par rapport à un double vitrage standard).

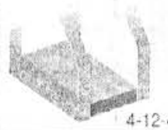


Double vitrage 20 mm
Niveau AC2
Affaiblissement acoustique 35 dB (A) route.

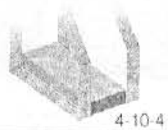


Double vitrage 18 mm
Niveau AC2
Affaiblissement acoustique 33 dB (A) route.

■ THERMIQUE RENFORCÉ : L'une des vitres reçoit un traitement spécial permettant de réduire de 2/3 les pertes de chaleur par rayonnement (Saint-Gobain EKO).

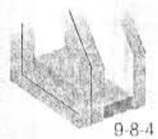


Double vitrage 20 mm
Niveau Th6
Meilleur niveau de classement.
Gain d'isolation de 60 % par rapport à un simple vitrage.

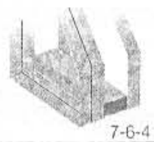


Double vitrage 18 mm
Niveau Th5
Gain d'isolation de 50 % par rapport à un simple vitrage.

■ RETARDATEUR D'EFFRACTION : L'une des vitres est feuilletée et composée de 2 verres collés où s'interpose un film plastique. Cumule les avantages de la sécurité et de l'isolation acoustique.



Double vitrage 21 mm
Niveau AC2 - Protection des personnes en cas de bris
Protection des biens contre le vandalisme - Affaiblissement acoustique 34 dB (A) route.



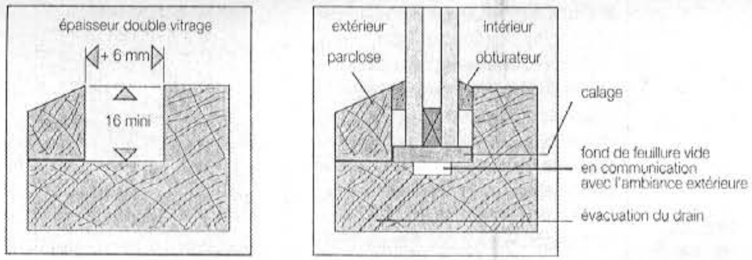
Double vitrage 17 mm
Niveau AC2
Protection des personnes en cas de bris - Affaiblissement acoustique 33 dB (A) route.

■ RÉFLÉCHISSANT : Une glace reçoit une couche minérale durcie par pyrolyse.

■ PROTECTION CONTRE LE FEU : Réunion de 2 glaces par un intercalaire pare-flamme. En cas d'incendie, il se transforme en mousse intumescente qui, avec le verre, empêche le passage du feu et de la fumée (Pyrodur Pilkington).

DOC. LAPEYRE

POSE ET CALAGE D'UN DOUBLE VITRAGE



DOC. UNCMI - QUALITÉ ET CONSTRUCTION

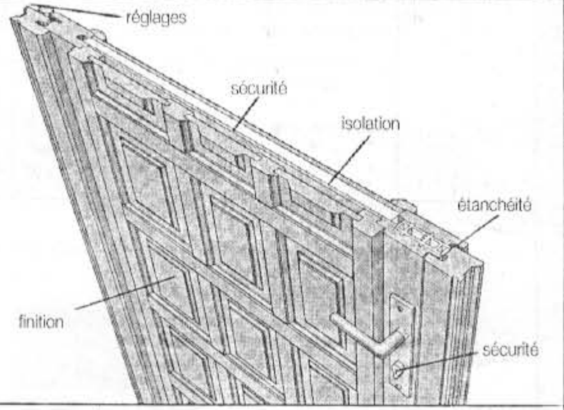
10.4 MENUISERIES EXTÉRIEURES

PORTES D'ENTRÉE

■ COMPOSITION D'UNE PORTE D'ENTRÉE

Porte d'entrée de pavillon ou d'appartement comportant un isolant thermique intégré ainsi qu'une plaque d'acier pour améliorer la protection anti-effraction (NF P 20-315).

- **Variantes possibles**
  - Partie vitrée (oculus)
  - Blindage
  - Serrure multipoints
  - Style
  - etc.



DOC. FIMA

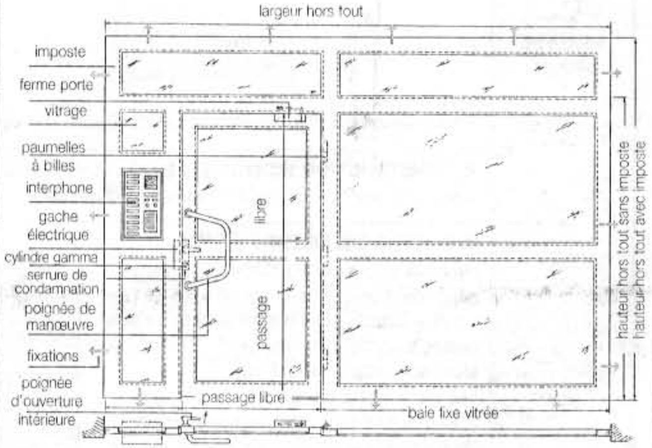
■ EXEMPLE DE DIMENSIONS (NF P01-005)

H tableau	H tableau	L 90	130 avec élément semi fixe de 50 à droite ou à gauche
215	215		
225	215 + imposte pleine		
235 245	215 + imposte vitrée		

■ PORTES D'ENTRÉE D'IMMEUBLE

Elles sont souvent réalisées sur mesure à partir d'éléments standard sur lesquels on rajoute les extensions souhaitées.

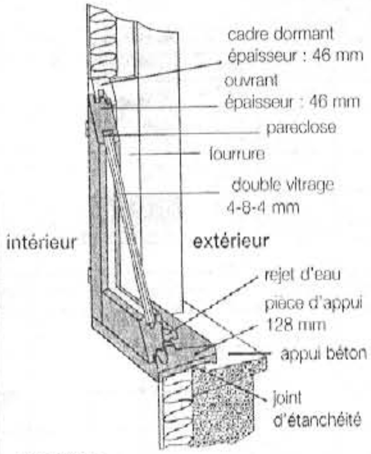
- **Exemple d'une porte en tubes acier profilés**



DOC. DECAYEUX

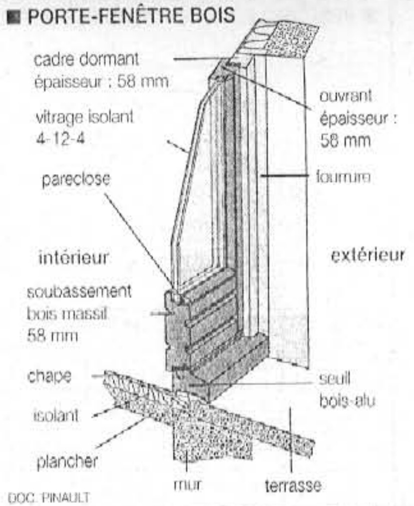
FENÊTRES ET PORTES-FENÊTRES

■ FENÊTRE BOIS



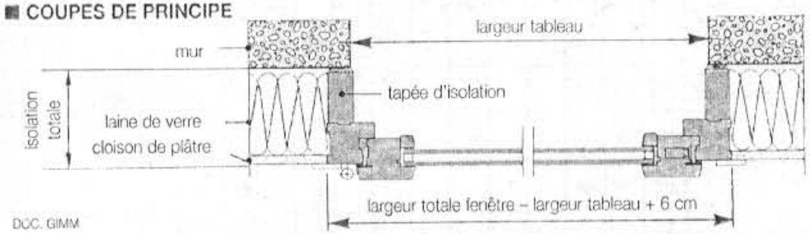
DOC. PINAULT

■ PORTE-FENÊTRE BOIS



DOC. PINAULT

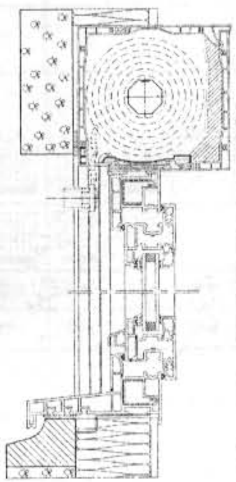
■ COUPES DE PRINCIPE



DOC. GIMM

■ FENÊTRE PVC

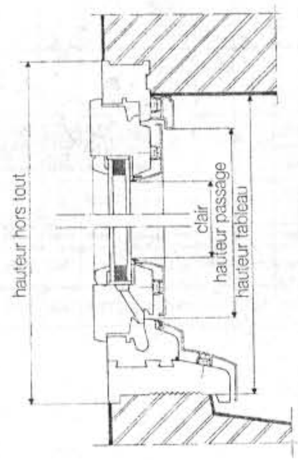
avec coffre de volet roulant intégré



DOC. REHAU

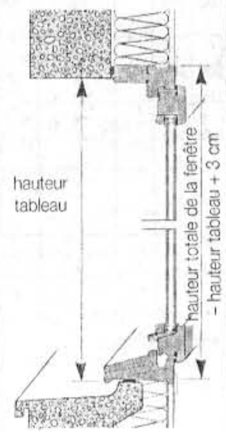
■ PORTE-FENÊTRE MIXTE

bois + profilés extérieurs alu



DOC. REHAU

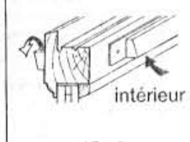
■ FENÊTRE BOIS



DOC. GIMM

■ ENTRÉES D'AIR RÉGLABLES

Pour renouveler l'air des logements, on peut utiliser les montants de menuiseries pour y incorporer des entrées d'air autoréglables.



DOC. LAPEYRE

PRINCIPALES DIMENSIONS DES PORTES ET FENÊTRES

	tableau			400	500	600	700	800	800	900	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	2100	2400
		hors-tout		460	560	660	760	860	860	960	1060	1260	1360	1460	1560	1660	1860	2160	2400
			P.B.	281	174	224		205		238,5	195,5	245,5		295,5					
soufflet	450	488		□	□	□		□		□	□	□		□					
soufflet	600	638									□	□		□					
soufflet	750	788									□	□		□					
				1 vantail					2 vantaux							3 vantaux			4 vantaux
			P.B.	281	174	224	274	205	271	144	169	219	244	269	185	183	216,5	266,5	215
fenêtres et chassis	450	488	300	□	□	□													
fenêtres et chassis	650	688	234	□	□	□					□	□							
fenêtres et chassis	750	788	284	□	□	□	□	□			□	□		□					
fenêtres et chassis	950	988	245	□	□	□	□	□			□	□		□	□				
fenêtres et chassis	1050	1088	278			□		□			□	□		□					
fenêtres et chassis	1150	1188	312			□	□	□	□	□	□	□		□		□	□		
fenêtres et chassis	1250	1288	250			□		□	□	□	□	□	□	□	□		□		
fenêtres et chassis	1350	1368	275			□		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
fenêtres et chassis	1450	1488	300					□		□	□	□		□			□	□	
fenêtres et chassis	1550	1588	254							□	□	□	□			□			
fenêtres et chassis	1650	1668	274							□	□	□	□	□			□		
fenêtres et chassis	1750	1788	239								□								
fenêtres et chassis	1950	1988	239								□								
portes-fenêtres	2150	2188	320					□				□	□	□	□		□	□	□
portes-fenêtres	2250	2288	276					□				□	□	□	□		□	□	□
Largeur en T.P.				310	410	510	610	710	710	770	870	1070	1170	1270	1340	1440	1640	1900	2160
Largeur en T.V.R.				400	500	600	700	800	800	900	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	2100	2400

Dimensions préférentielles

DOC. FIMA

FENÊTRES DE TOIT

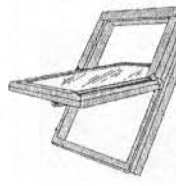
DESCRIPTIF

Les fenêtres de toit sont des fenêtres spéciales et, à ce titre, font l'objet d'une procédure d'avis technique (conception de la menuiserie et aptitude à la fonction) et d'un certificat de qualification (fabrication et performances du produit).

Les raccordements à la toiture se font généralement par des profilés spéciaux en aluminium laqué couplés à des jupes en plomb.

Les fenêtres de toit s'ouvrent soit par rotation, soit par projection.

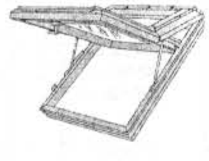
Système d'ouverture par rotation



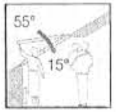
Pentes d'utilisation



Système d'ouverture par projection



Pentes d'utilisation



Dimensions hors tout (largeur x hauteur en cm).									
	55 x 78	55 x 98	78 x 98	78 x 118	78 x 140	114 x 118	114 x 140	134 x 98	134 x 140

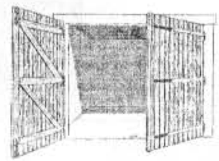
DOC. VELUX

PORTES DE GARAGES

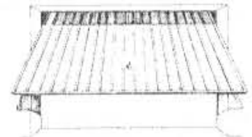
TYPES

Il existe 5 grandes familles de portes de garages :

- **Ouvrantes à la française** (à 2 ou plusieurs vantaux)



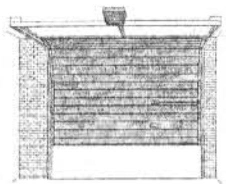
- **Basculantes (débordantes ou non)**



- **Coulissantes**



- **Sectionnelles**



- **À enroulement** (non représentée car identique à un volet roulant cf. page suivante)

CONSTRUCTION INDIVIDUELLE : On trouve quasiment tous les types (les portes sectionnelles et à enroulement étant néanmoins minoritaires).

GARAGE COLLECTIF :

On emploie des portes basculantes, sectionnelles ou à enroulement car ce sont les plus simples à motoriser. Pour les tabliers ou panneaux, tous les matériaux sont utilisés (bois, aluminium, tôle d'acier, PVC).

Les dimensions en tableau sont en général 2,40 m x 2,00 m (L x H) pour un pavillon.

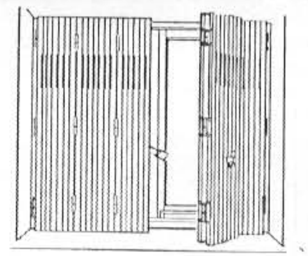
Pour un garage collectif, on peut se reporter au tableau ci-contre.

Hauteur	Largeur 2000	3000	4000	5000	
2000					
2150					
2300					4800
2400					4600
2500					4400

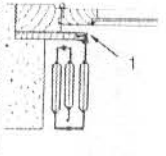
surface maximum : 11 m²

FERMETURES

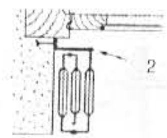
■ PERSIENNES PLIANTES (NF P 25)



• **Deux modes de pose**

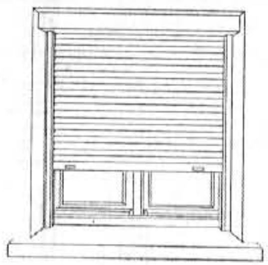


1. Tapées bois

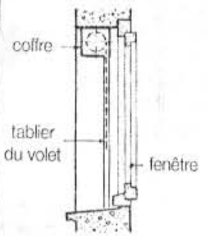


2. Tapée incorporée ou cornière métallique

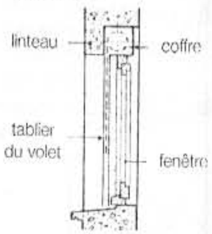
■ VOLETS ROULANTS (NF P 25)



• **Système monobloc**
Le coffre d'enroulement se fixe à l'extérieur. Idéal pour la rénovation.

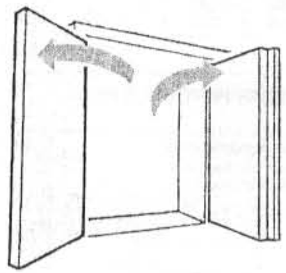


• **Système traditionnel**
L'emplacement pour le caisson doit être prévu dans la maçonnerie.



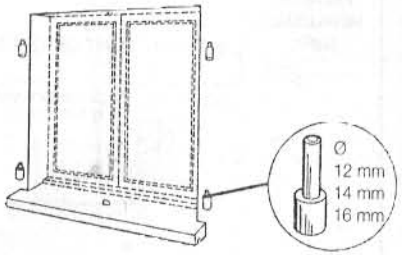
■ VOLETS BATTANTS (NF P 25)

• Principe



• Fixation

Pour la rénovation possibilité de penture pour gond existant de diamètre 12 ou 16 mm.



• **Styles**

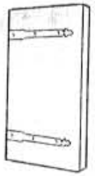
Avec barres et écharpes

22 mm,
28 mm,
PVC.



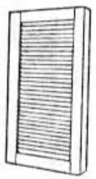
Avec contre-pentures

Sapin,
28 mm,
32 mm,
PVC.



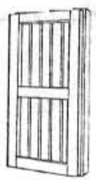
Persienné

Bois exotique,
PVC.



Avec cadre dauphinois

Sapin,
28 mm.



DOC. LAPEYRE

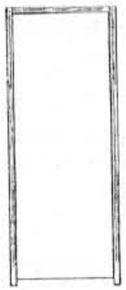
10.5 MENUISERIES INTÉRIEURES

Pour des séparations de pièces, il existe 2 familles de blocs portes (porte + huisserie) (NF P 23-300, 302, 303).

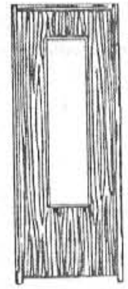
BLOCS PORTES

■ BLOCS PORTES ISOPLANES

Porte prépeinte

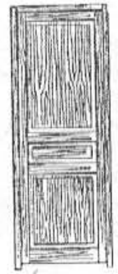


Porte plaquée avec oculus

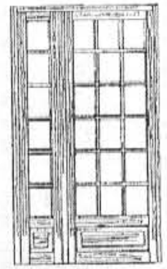


■ BLOCS PORTES MENUISÉES

Porte à panneaux et plates-bandes



Porte vitrée à petits bois

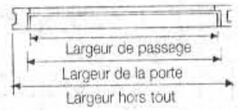


■ COMPOSITION ET DIMENSIONS

Les portes isoplanes peuvent être
• isotherme : âme en polystyrène
• isophonique : âme en aggloméré et isorel mou.
L'huisserie est en bois (sapin) ou métallique (tôle pliée).

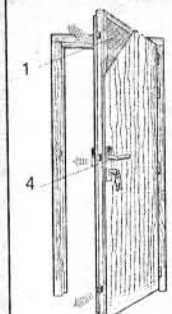


Largeur de passage	60	70	80	90	123	143
Largeur de la porte	63	73	83	93	126	146
Largeur hors tout	72	82	92	102	135	155



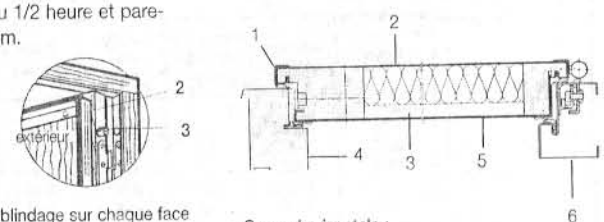
■ PORTES PALIÈRES D'APPARTEMENT (NF P 20-311, 23-301 et 306)

• **Portes blindées**
Lorsque la sécurité est primordiale, on utilise de plus en plus des portes blindées. Elles sont en général coupe-feu 1/2 heure et pare-flamme 1/2 heure minimum.



1 blindage sur chaque face recouvert d'un parement.
2 cornière anti-effraction posée.
3 3 renforts de paumelles posés.
4 1 serrure à 3 points de verrouillage encastrée.

• **Autres cas**
On emploie des blocs portes acoustiques ayant les mêmes résistances au feu.



Coupe horizontale :
1 aluminium anodisé bronze
2 stratifié intérieur
3 BA 13
4 huisserie bois
5 stratifié extérieur
6 huisserie métallique.

11 BARDAGES ET VÊTURES

11.1 DÉFINITIONS ET CLASSEMENT

■ BARDAGE
Système d'éléments de parement (plaques, clins) fixés sur une ossature porteuse, posé avec ou sans isolation thermique.

■ VÊTURE
Système d'isolation à base d'éléments constitués de deux produits, un isolant thermique et une peau extérieure de protection, qui se pose en une seule fois sur la façade.

Un classement appelé « **reVETIR** » a été créé pour apprécier les qualités et choisir les systèmes comportant une isolation thermique par l'extérieur.

r : facilité de réparation
e : facilité d'entretien
V : résistance aux effets du Vent
E : Étanchéité
T : Tenue aux chocs
I : comportement en cas d'Incendie
R : Résistance thermique

Un indice (de 1 à 4 en général) est associé à chaque lettre. Plus il est élevé, meilleure est la performance.

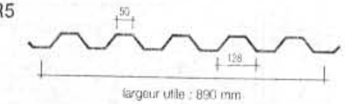
11.2 BARDAGES

BARDAGES MÉTALLIQUES

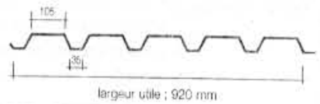
■ COMPOSITION
Plaques nervurées en tôles d'acier galvanisé protégé par différents types de finition (peinture, film de chlorure de polyvinyle...) ou en aluminium prélaqué. Longueurs coupées à la demande le plus souvent. Normes NF P 34-301, 34-411.

■ EXEMPLES

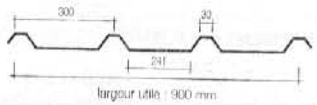
• HR5



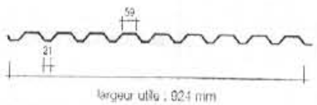
• BR5



• TR3



• BR9

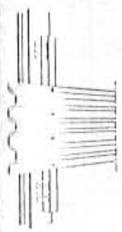


■ CARACTÉRITIQUES GÉOMÉTRIQUES, PONDÉRALES, MÉCANIQUES

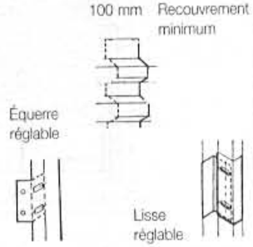
Types	Épaisseur (mm)	Hauteur de la nervure (mm)	Largeur utile (mm)	Poids (kg/m²)	Moment quadratique (cm⁴/m)	Rayon de giration (cm³/m)	Portée admissible (m) pour une charge de 100 daN/m²	
							2 appuis	3 appuis
Couverture								
HR5	0,725	38	890	8,61	17,53	8,14	2,50	2,85
IBR5	0,725	35	920	8,23	16,03	6,25	2,45	3,05
IBR9	0,650	20	924	7,55	4,89	3,65	1,58	1,80
	0,725	20	924	8,43	5,46	4,21	1,65	1,95
TR3	0,650	34	890	6,09	8,78	3,01		1,87
Bardage								
HR5	0,656	38	890	7,66	15,22	6,98	2,80	3,20
	0,725	38	890	8,61	17,53	8,15	2,95	3,35
BR5	0,650	35	920	7,58	10,65	5,95	2,60	2,85
	0,725	35	920	8,23	11,95	6,12	4,10	5,00
BR9	0,650	20	924	7,55	4,12	3,44	1,75	2,10
	0,725	20	924	8,43	4,81	3,91	1,90	2,20
TR3	0,650	34	890	6,09	8,78	3,01	2,10	2,10

BARDAGES MÉTALLIQUES (suite)

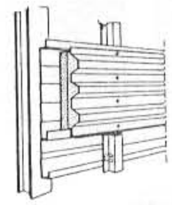
• Simple peau
Pas d'isolation thermique, une seule peau extérieure.



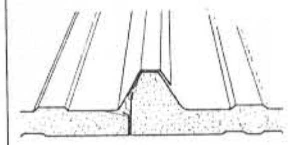
Assemblage



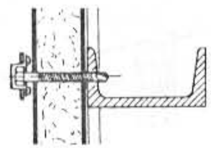
• Double peau composite
Une peau intérieure + un isolant thermique + une peau extérieure, le tout monté sur chantier.

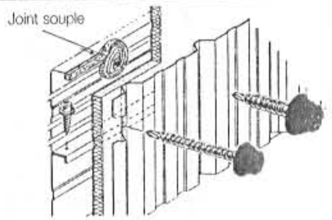


• Double peau monobloc
Élément préfabriqué, sandwich composé de deux peaux et d'un remplissage en polyuréthane expansé.



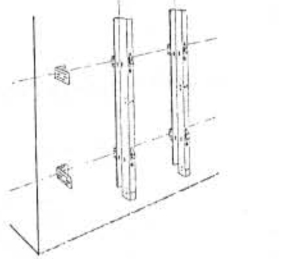
■ FIXATION DES BARDAGES
Vissage par vis autotaraudeuses sur une ossature en profilés d'acier (U, I,...) perpendiculaire au sens de pose du bardage.





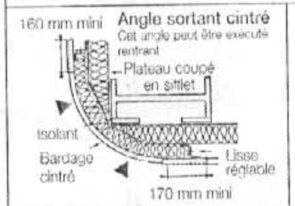
Région (1)	Site	Espacement des lisses (m)		
		Protégé	Normal	Exposé
I	H ≤ 10 m	0,80	0,80	0,80
	10 < H < 20 m	0,80	0,80	0,60
II	H ≤ 10 m	0,80	0,60	0,60
	10 < H < 20 m	0,80	0,60	0,45
III	H ≤ 10 m	0,60	0,60	0,45
	10 < H < 20 m	0,60	0,45	0,40

(1) Cf. chapitre 26.

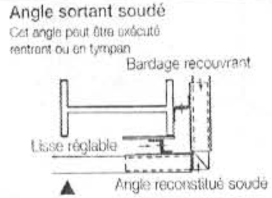


■ TRAITEMENT DE QUELQUES POINTS PARTICULIERS

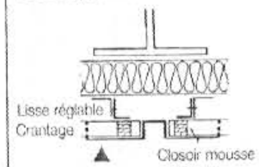
Angle sortant cintré



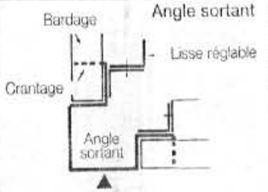
Angle sortant soudé



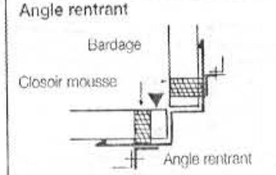
Couvre-joint vertical en creux



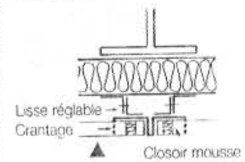
Angle sortant



Angle rentrant



Couvre-joint vertical rentrant



DOC. PROFILACIER

▶ face laquée

CLINS BOIS OU PVC

■ PRINCIPE
Lames clouées horizontalement, le plus souvent, sur une ossature bois fixée sur le gros-œuvre.

■ MATÉRIAUX
1. Compound PVC pour l'extrusion des lames et profilés complémentaires de pose (angles, raccordements divers,...).
2. Bois traité fongicide et insecticide prêt à finir ou déjà lasuré en usine. Exemple de profils :



Bevel Siding
Essence : Cèdre rouge
Section : 19 × 190 mm

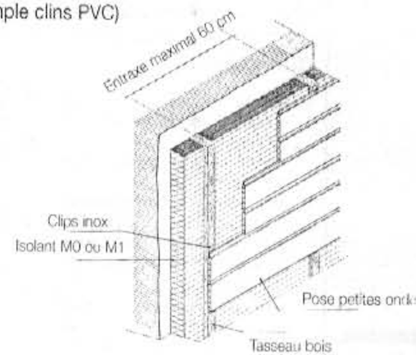
Savoyard
Essence : Sapin du Nord
Section : 22 × 145 mm

Scandinave traité autoclave
Essence : Pin du Nord
Section : 18 × 120 mm

■ DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES (exemple clins PVC)

• **Classement reVETIR**

Système	Classement
BARDEX 250	$re_2e_4V_1E_4T_3I_3R_4$
BARDEX 125 entraxe des chevrons 60 cm	$re_2e_4V_2E_4T_3I_3R_4$
Entraxe des chevrons 40 cm ou 50 cm	$re_2e_4V_3E_4T_3I_3R$



• **Dimensions**
Lames standard selon deux modules.
Lame de 125 : 12 mm × 144 mm × 6 m hors tout.
Lame de 250 : 12 mm × 268 mm × 6 m hors tout.

• **Poids au m²**
Lame de 125 : 3,6 kg.
Lame de de 250 : 3,2 kg.

• **Aspect**
Lames lisses avec ou sans faux-joints.
Lames de 125 : grandes ondes 125 mm ou petites ondes 62 mm.
Lames de 250 : grandes ondes 250 mm ou petites ondes 125 mm.

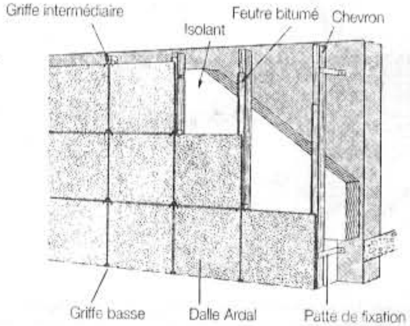
DOC. OMNIPLAST S.A.

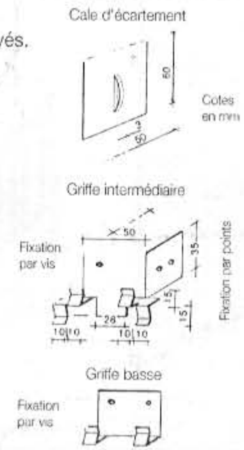
DALLES

■ MATÉRIAUX UTILISÉS
Plaques de pierre reconstituée, bardeaux fibres-ciment, ardoises, etc.

■ POSE
Deux types de pose sont utilisés en fonction des matériaux employés. L'appareillage du parement étant souvent laissé à l'initiative du maître d'œuvre.

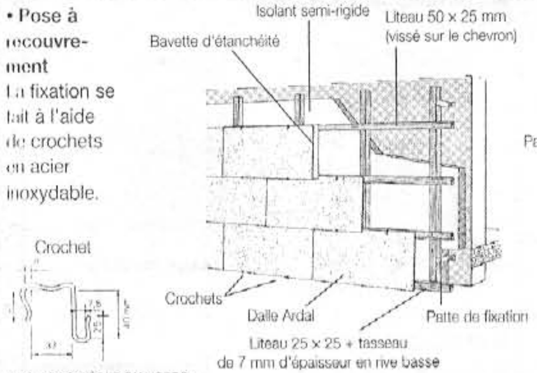
• **Pose bord à bord :** accrochage par griffe ou lisse alu.





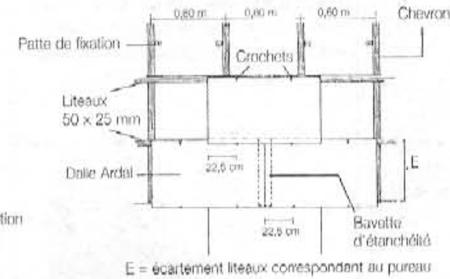
DOC. ARDOISIÈRES D'ANGERS

• **Pose à recouvrement**
La fixation se fait à l'aide de crochets en acier inoxydable.



DOC. ARDOISIÈRES D'ANGERS

H hauteur dalle	P pureau	R recouvrement
580 mm	550 mm	30 mm
490 mm	460 mm	30 mm

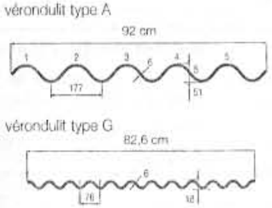


E = écartement liteaux correspondant au pureau

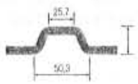
AUTRES TYPES DE BARDAGES

■ BARDAGES TRANSLUCIDES (normes NF P 38-402, 38-403, 38-601)

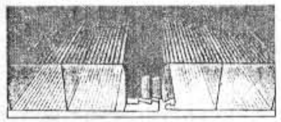
• **Verre armé plan ou ondulé**



• **Polyester ondulé carré**

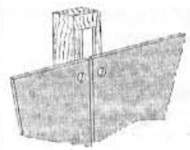


• **PVC alvéolé**

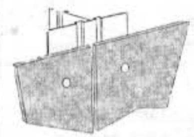


■ BARDAGES EN PANNEAUX DE STRATIFIÉ
(fibres cellulosiques + résine thermodurcissable)

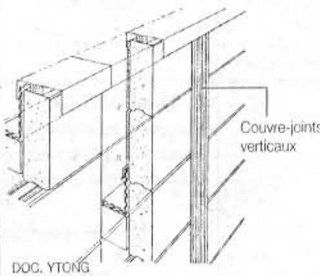
• **Ossature bois**



• **Système Doublisol**

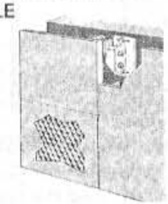


■ DALLES DE BARDAGE EN BÉTON CELLULAIRE
fabriquées sur mesure (Ytong)



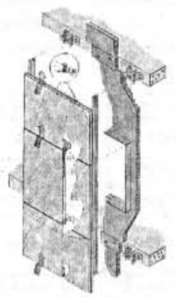
DOC. YTONG

■ PANNEAUX COMPOSITES À STRUCTURE DE TYPE NID D'ABEILLE



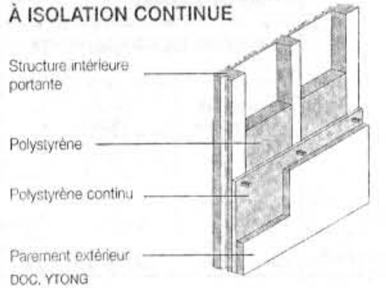
DOC. CFEM

■ VITRAGE EXTÉRIEUR COLLÉ
(V.E.C.), collage à l'aide de mastic silicone des panneaux verriers sur des cadres métalliques, supprimant ainsi toute structure apparente



DOC. CFEM

■ PANNEAUX EN BÉTON ARMÉ À ISOLATION CONTINUE



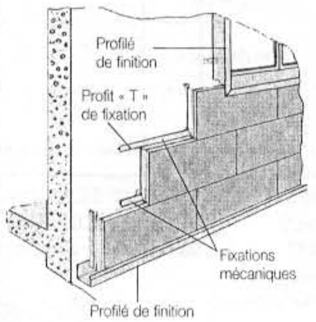
DOC. YTONG

11.3 VÊTURES

PAREMENT PIERRE RECONSTITUÉE

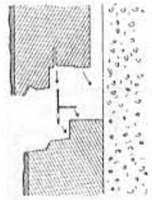
■ **COMPOSITION**

Vêture sous forme de petits éléments, composée d'un panneau de polystyrène expansé recouvert d'un parement réalisé à partir d'un mortier hydraulique modifié par des résines organiques dans lequel sont insérés des granulats de marbre naturel.

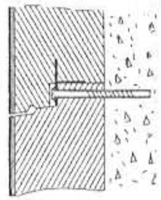


DOC. AXTER

■ **PRINCIPE DE FIXATION**



Emboîtement de deux éléments superposés



Coupe verticale

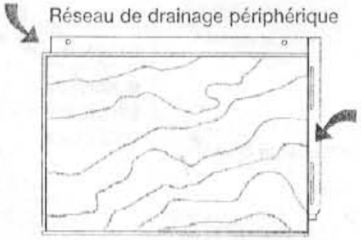
■ **RÉSISTANCE THERMIQUE**

Épaisseur d'isolant (mm)	65	80	100 (sur demande)
Longueur (mm)	600	600	600
Largeur (mm)	300-450	300-450-600	300-450-600
Poids moyen au m² (kg)	9,9	10,2	10,5
Surface couverte par élément (m²)	0,18/0,27	0,18/0,27/0,36	0,18/0,27/0,36
Résistance thermique (m² °C/W)	1,50	1,85	2,35

PAREMENT EN MATÉRIAU COMPOSITE

■ **COMPOSITION**

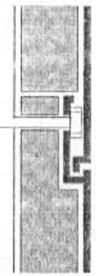
Parement en matériau composite thermodurcissable associé à un panneau de polystyrène expansé ou de laine de roche et fixé sur le support existant.



■ **PRINCIPE DE FIXATION**

Invisibles et directes du parement, sans sollicitation de l'isolant, sans rails ni crochets.

Coupe verticale sur emboîture



■ **ÉPAISSEUR**

Épaisseur du parement en version standard :
- 2,8 mm dans le cas d'un usage en zone peu exposées (résiste à des chocs de corps dur de 3 joules).

Épaisseur du parement en version renforcée :
- 2,8 mm + tissu de verre dans le cas d'un usage en zones exposées (résiste à des chocs de corps dur de 10 joules).

■ **GAMME DES PAREMENTS**

Désignation	Aspect de surface	Format en cm	Couleurs
Pierre du Sud Pierre de Loire	Grésé Veiné	47 × 70 et 34 × 51	12 coloris
Ardoise	Ardoise	51 × 63	12 coloris
Carea Uni	Uni poli	60 × 60 et 34 × 51	12 coloris
Carea Nuages Carea Reflets Carea Nacre	Granit poli	60 × 60 et 34 × 51	18 nuances
Carea Marbre	Marbre poli	60 × 60 et 34 × 51	12 compositions

■ **TRAITEMENT DES POINTS SINGULIERS :**

Par profilés en aluminium laqué, en polyester armé ou en composite massif.

DOC. LEVERRIER

12 ESCALIERS ET ASCENSEURS

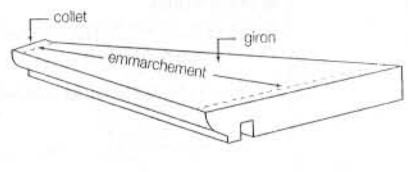
12.1 ESCALIERS

TERMINOLOGIE ET DESCRIPTION

• **Escalier**

Un escalier est, dans une construction, une suite régulière de plans horizontaux permettant de passer à pied d'un niveau à un autre.

Un escalier est déterminé par :
- sa montée (hauteur à gravir) H ;
- son **emmarchement** (largeur utile) E ;
- son giron g ;
- sa hauteur de marche h.



• **Volée d'escalier**

C'est un ensemble ininterrompu de marches entre deux paliers successifs.

Une volée ne peut comporter plus de 25 marches.

• **Échappée**

C'est la hauteur libre de passage à l'aplomb des nez de marche au-dessous d'un palier ou d'une contremarche.

L'échappée doit être toujours supérieure à 1,90 m.

1 **Rampe :** Garde-corps rampant composé d'une main courante, d'un remplissage (balustres, lisses rampantes) et éventuellement d'une lisse basse.

2 **Main courante :** Partie supérieure, rapportée ou non d'un garde-corps, d'une rampe, d'une balustrade ou d'une barre d'appui destinée à être prise en main.

3 **Lisse :** Élément horizontal ou rampant du garde-corps. On distingue la lisse basse qui reçoit les éléments de remplissage de la rampe et la lisse rampante qui est un élément de décoration et de protection.

4 **Limon de mur :** Limon situé contre le mur.

5 **Limon :** Pièce de bois principale recevant les marches et éventuellement des contremarches et une rampe.

6 **Ligne de foulée :** Ligne conventionnelle figurant la trajectoire moyenne des pas d'une personne sur un escalier.
- Si l'emmarchement E ≥ 1 m, la ligne de foulée se place à 0,50 m du collet.
- Si l'emmarchement E < 1 m, la ligne de foulée se place à mi-emmarchement.

7 **Balustre :** Élément vertical de protection et de décoration en bois assemblé entre main courante et lisse, limon et marche.

8 **Balustrade :** Garde-corps horizontal composé de balustres et couronné d'un profil en forme. Par extension, la balustrade désigne un garde-corps ajouré dont les éléments constitutifs sont généralement minces.

9 **Demi-poteau :** Poteau se trouvant contre le mur.

10 **Plate-bande :** Prolongement de limon devant la solive d'arrivée dans les escaliers (habillage de l'épaisseur du plancher).

11 **Poteau :** Pièce de forte section permettant l'assemblage des éléments : rampes, garde-corps, marches, contremarches.

12 **Crosse de limon :** Au départ, partie arrondie du dessous du limon ou de la crémaillère.

13 **Pilastre :** Colonne servant de départ à la rampe

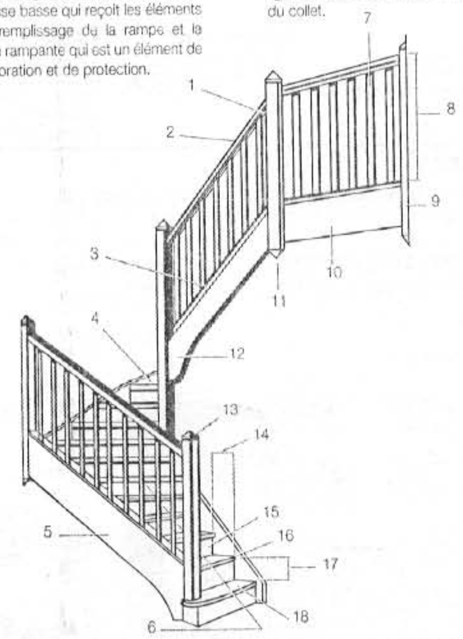
14 **Giron :** Largeur de la marche mesurée de nez à nez sur une ligne de foulée.

15 **Contremarche :** Paroi obturant l'espace entre deux marches

16 **Nez de marche :** Bord avant du plan de marche.

17 **Hauteur de marche :** Distance entre la surface supérieure de deux marches consécutives.

18 **Marche de départ :** Première marche à gravir. Elle peut être différente des suivantes.

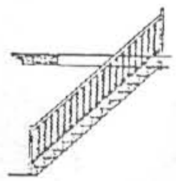


SOURCE : SYNDICAT NATIONAL DES CONSTRUCTEURS DE MENUISERIES INDUSTRIELLES

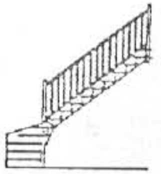
EXEMPLES DE FORMES D'ESCALIERS

■ ESCALIERS TRADITIONNELS

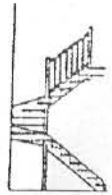
Droit



1/4 tournant

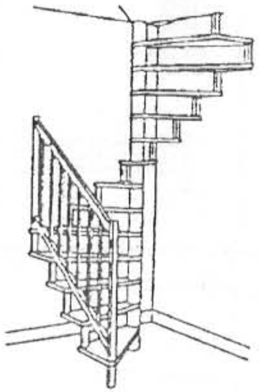


2/4 tournant

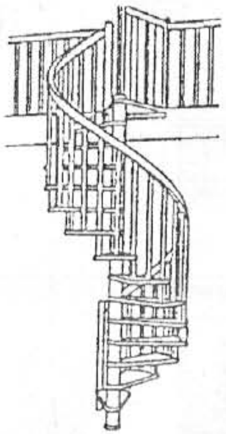


■ ESCALIERS HÉLICOÏDAUX

Carré



Circulaire



DOC. LAPEYRE

DIMENSIONNEMENT D'UN ESCALIER

■ DONNÉES

• Forme

Dimensions de la trémie et hauteur à gravir.

• Emmarchement

Emmarchements conseillés

• Habitation individuelle :

- escalier de service : E = 0,80 m
- escalier principal : E = 1,20 m.

• Habitat collectif et établissements recevant du public : la valeur de l'emmarchement minimum est fixé par les normes.

• Hauteur de marche

Valeur moyenne : 13 cm ≤ h ≤ 18 cm

Cette valeur peut atteindre 22 cm pour les escaliers hélicoïdaux.

• Giron

Largeur de la marche mesurée sur la ligne de foulée.

• Relation de Blondel

Un escalier se montera sans fatigue s'il respecte la relation de Blondel :

$$2\,h + g = 60 \text{ à } 64 \text{ cm}$$

■ EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT

Hauteur à gravir : H = 297 cm

Choix de la hauteur de marche :

$$h = 17 \text{ cm}$$

Détermination du nombre de marches :

$$n = H/h$$

$$n = 297/17 = 17{,}5$$

$$\rightarrow n = 18 \text{ marches}$$

Détermination de la hauteur réelle de marche :

$$h = H/n$$

$$h = 297/18 = 16{,}5 \text{ cm}$$

$$\rightarrow h = 16{,}5 \text{ cm}$$

Détermination du giron :

$$2\,h + g = 62 \text{ cm}$$

$$\rightarrow g = 29 \text{ cm}$$

BALANCEMENT D'UN ESCALIER : MÉTHODE DE LA HERSE

Lorsque les dimensions de la cage d'escalier ne permettent pas de positionner un palier intermédiaire, le balancement consiste à élargir progressivement le collet d'un certain nombre de marches prises dans la courbe.

La méthode de la herse est une méthode courante de balancement. Il en existe d'autres : alignements, trapèze, angles, etc.

■ DONNÉES À PRENDRE EN COMPTE

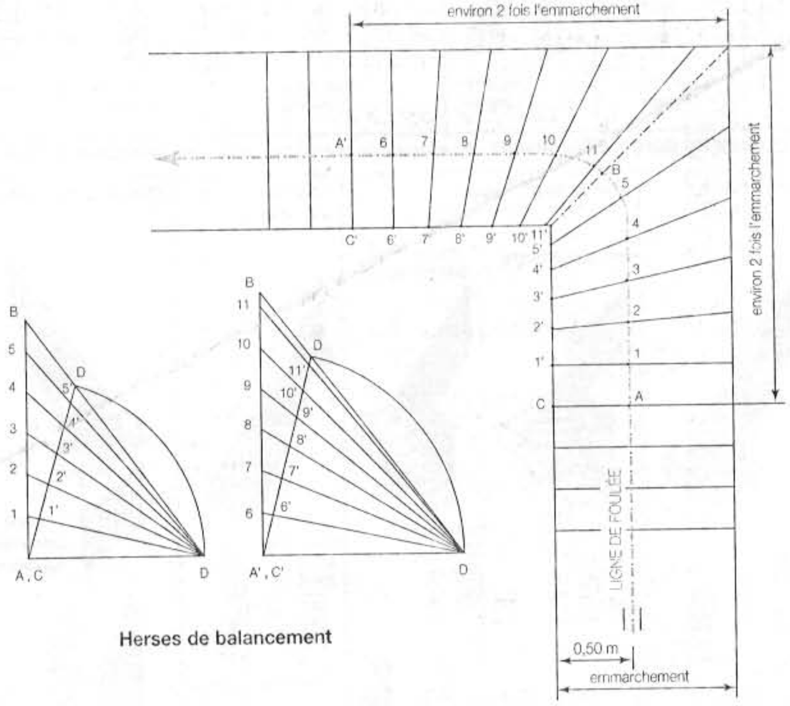
- Le nombre de marches.
- La hauteur de marche.
- Le giron.
- L'emmarchement.

■ CHRONOLOGIE DU TRACÉ

1. Tracer la ligne de foulée.
2. Sur la ligne de foulée, tracer les marches dont la hauteur et le giron auront été calculés par la relation de Blondel.
3. Déterminer le nombre de marches à balancer. Il faut choisir comme limite le nez de marche le plus proche du double de l'emmarchement par rapport au mur extérieur de la cage.
4. Tracer sur l'axe vertical de la herse le développement de la ligne de foulée AB.
5. Tracer sur l'axe horizontal de la herse le développement de la ligne de collet CD.
6. Relier les points de chaque marche au point D.
7. Tracer un arc de cercle de centre A et de rayon CD.
8. Tracer la droite AD.
9. Les points 1' à 5' déterminent les largeurs de marche sur la ligne de jour.

   Cette dimension, appelée « collet », ne devra pas être inférieure à 10 cm.

Le tracé se fait de la même manière pour la partie en retour.

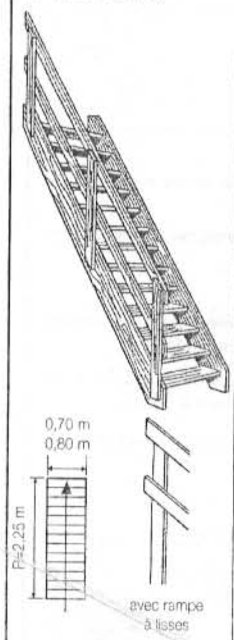


Herses de balancement

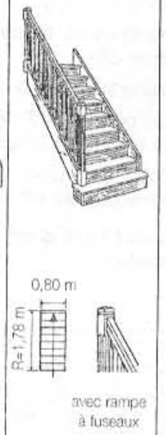
ESCALIERS BOIS DROITS

DOC. LAPEYRE

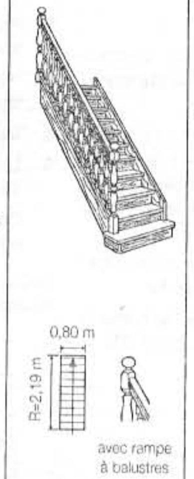
Hauteur : 2,73 m
13 marches
Chevêtre minimum :
L. 1,93 x l. 0,75 m



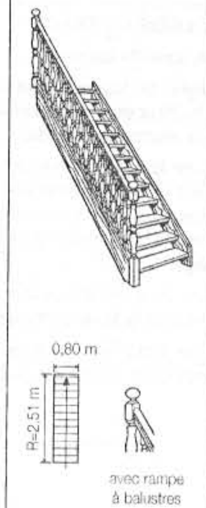
Hauteur : 1,74 m
9 marches
avec contre-
marches



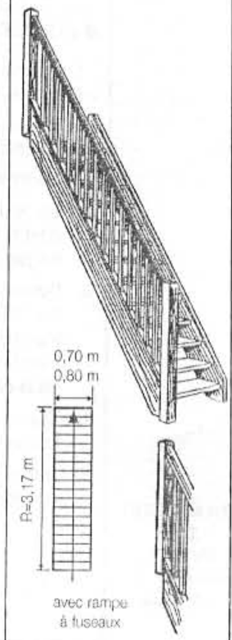
Hauteur : 2,12 m
11 marches
avec contremarches



Hauteur : 2,51 m
13 marches
sans contremarche



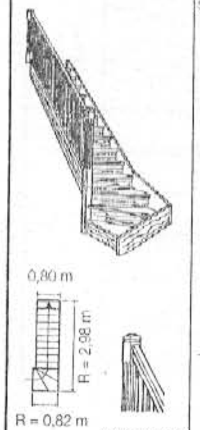
Hauteur : 3,78 m
18 marches
Chevêtre minimum :
L. 1,93 x l. 0,75 m



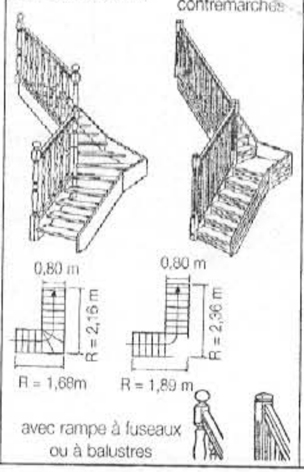
ESCALIERS BOIS 1/4 TOURNANT : Exemples de réalisation pour une hauteur de 2,72 m.

DOC. LAPEYRE

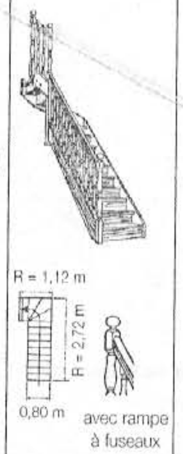
Quartier tournant
non débordant



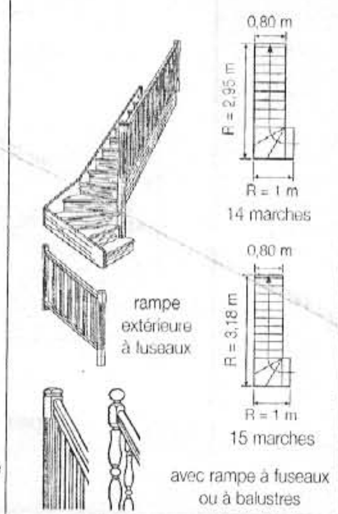
Quartier tournant milieu



Quartier
tournant haut



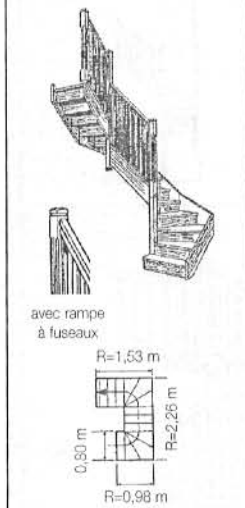
Quartier tournant débordant



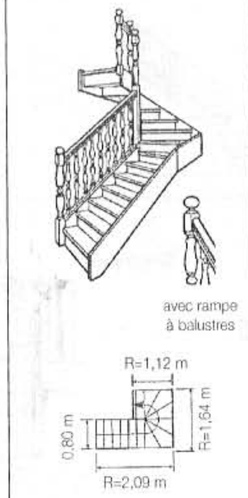
ESCALIERS BOIS 2/4 TOURNANTS : Exemples de réalisation pour une hauteur de 2,72 m

DOC. LAPEYRE

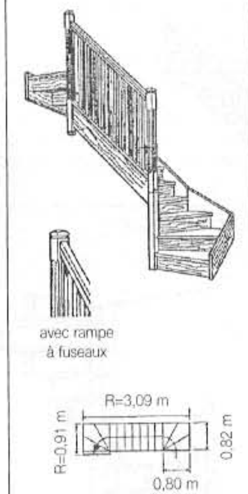
2 quartiers tournants en «U»



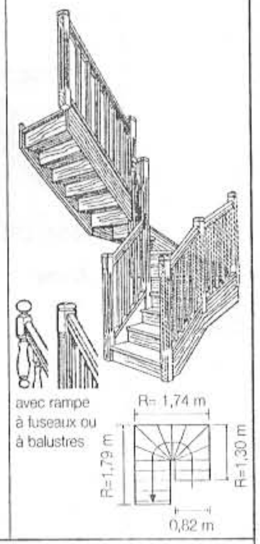
2 quartiers tournants



Quartiers tournants, départ
et arrivée, non débordants

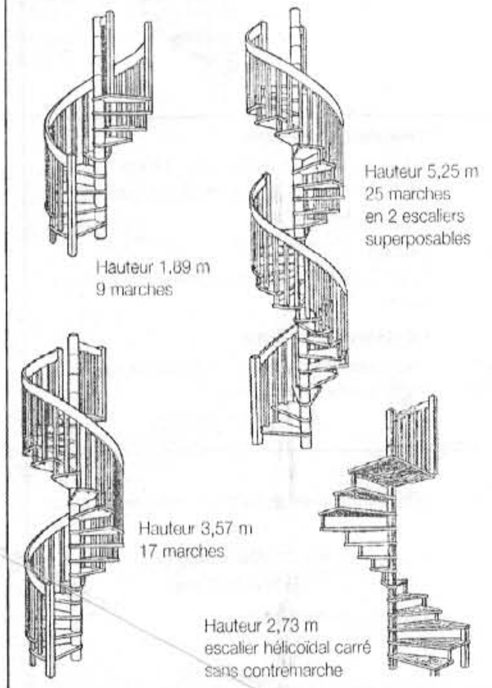


Rampe extérieure de départ

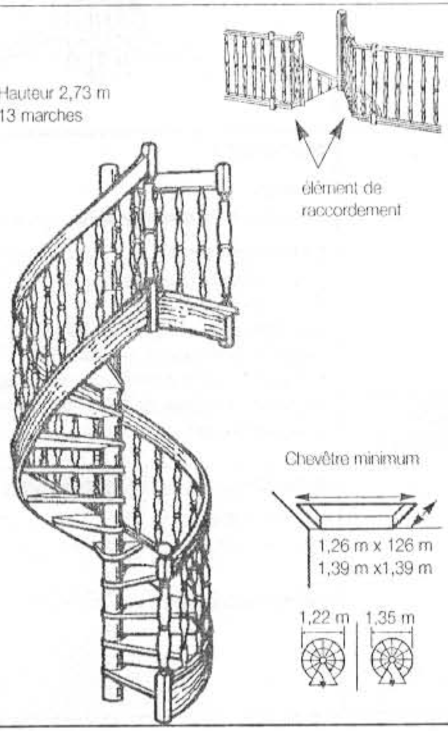


ESCALIERS BOIS HÉLICOÏDAUX

DOC. LAPEYRE



Hauteur 2,73 m
13 marches



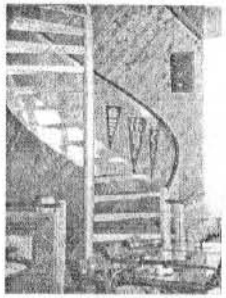
ESCALIERS MÉTALLIQUES

■ 3 S VOILE ALU (modèle déposé)

Série courante	3 S 60	Ø extérieur 1,36 m, passage 0,60
	3 S 70	Ø extérieur 1,56 m, passage 0,70
	3 S 80	Ø extérieur 1,76 m, passage 0,80
	3 S 90	Ø extérieur 1,96 m, passage 0,90
Série spéciale	3 S 120	Ø extérieur 2,60 m, passage 1,20
	3 S 140	Ø extérieur 3,05 m, passage 1,40

Marches et palier en tôle pliée gaufrée C (hauteurs disponibles 200 et 169 mm). Sans contremarche.
Rampe et garde-corps :
- voile en tôle perforée R 20 T 25, aluminium 1050, état H 24 mm finish, épaisseur 2 ou 3 mm ;
- montants en tube carré de 50 mm ;
- main courante en profilé caoutchouc moulurė.

Protection : galvanisé à chaud au trempé (sauf sur tôle aluminium).
Sur demande :
- la tôle d'aluminium peut être remplacée par une tôle en acier perforée ou non ;
- marches en tôle lisse ou perforation STOPNET hautement antidérapante ;
- peint d'une couche d'apprêt antirouille.



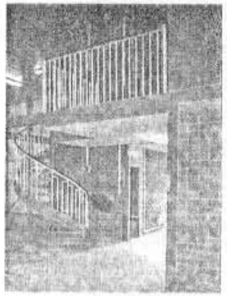
Colonne centrale tubulaire avec plaque d'assise.

■ 3 S BARREAUDE (modèle déposé)

Série courante	3 S 60	Ø extérieur 1,36 m, passage 0,60
	3 S 70	Ø extérieur 1,56 m, passage 0,70
	3 S 80	Ø extérieur 1,76 m, passage 0,80
	3 S 90	Ø extérieur 1,96 m, passage 0,90
Série spéciale	3 S 120	Ø extérieur 2,60 m, passage 1,20
	3 S 140	Ø extérieur 3,05 m, passage 1,40

Marches et palier en tôle pliée gaufrée C (hauteurs disponibles 200 et 169 mm). Sans contremarche.
Rampe et garde-corps :
- barreau principal en tube ou plat 25 x 10 mm ; barreau intermédiaire avec motif plié en fer Ø 10 mm ;
- main courante en profilé caoutchouc moulurė ;
- montants en tube carré de 50 mm.

Protection : galvanisé à chaud au trempé (sauf sur tôle aluminium).
Sur demande :
- barreaudage en fer plat 25 x 10 et 20 x 5 mm ;
- marches en tôle lisse ou perforation STOPNET hautement antidérapante ;
- peint d'une couche d'apprêt antirouille.



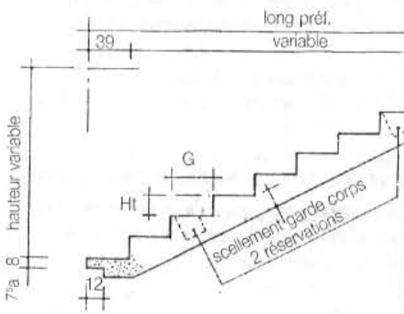
Colonne centrale tubulaire avec plaque d'assise.

DOC. GANTOIS

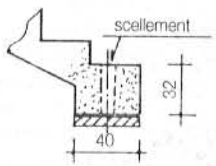
ESCALIERS EN BÉTON ARMÉ

■ 1/2 VOLÉE D'ESCALIER DROITE PRÉFABRIQUÉE

Ils peuvent être coulés en place ou préfabriqués.



Détail départ



Passage utile	Giron	Ht de marche	
120	27	17,87	1/2 volée jusqu'à 9 marches
—	28	—	
—	—	14,95	
140	27	16,87	
—	28	—	
—	30	—	
—	35	14	
150	25	15,87	
140	28	15,87	volée de 17 marches
—	—	16,87	

DOC. MATÉRIAUX DE LA NIVE

ESCALIERS ESCAMOTABLES

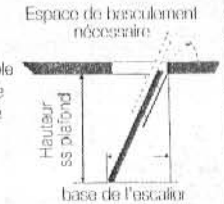
■ COMPACTS

Les trois éléments repliés en portefeuille ne débordent pas du caisson.
Existe en version trappe coupe-feu.



■ RIGIDES

Idéal, si la place disponible dans le comble permet le débordement (espace de basculement).



DOC. SIPLAST

ESCALIERS ESCAMOTABLES COMPACTS

Caractéristiques dimensionnelles des escaliers ROTO 8/3 bois (cotes en cm)

longueur de caisson (1)	largeur de caisson (1)	hauteur de caisson	hauteur sous plafond de	hauteur sous plafond à	longueur partie basse livrée à part	espace de dégagement	base de l'escalier
120	60-70	21	220	237	L 60	168-155	148-112
			231	250	L 73	168-155	154-116
			250	270	sans	168-155	135-124
130	70	21	218	237	L 60	169-155	151-112
			229	250	L 73	169-155	157-116
			248	270	sans	169-155	168-124
140	70	21	218	237	L 60	169-155	151-112
			229	250	L 73	169-155	157-116
			248	270	sans	169-155	168-124

Caractéristiques dimensionnelles des escaliers ROTO 8/3 aluminium (cotes en cm)

longueur de caisson (1)	largeur de caisson (1)	hauteur de caisson	hauteur sous plafond de	hauteur sous plafond à	longueur partie basse livrée à part	espace de dégagement	base de l'escalier
120	60-70	25	221	241	L 59	173-158	152-114
			236	257	L 76	173-158	161-120
130	70	25	220	241	L 59	174-158	153-114
			235	257	L 76	174-158	162-120
			250	273	L 93	174-158	170-126
140	70	25	220	241	L 59	174-158	153-114
			235	257	L 76	174-158	162-120
			250	273	L 93	174-158	170-126
			265	290	L 111	174-158	179-132

(1) : les dimensions indiquées correspondent à celles de la trémie dans laquelle sera installée l'escalier, les dimensions réelles du caisson sont inférieures de 1 cm.

DOC. SIPLAST

ESCALIERS ESCAMOTABLES RIGIDES

Caractéristiques dimensionnelles des escaliers ROTO 8/2 bois et aluminium (cotes en cm)

longueur de caisson (1)	largeur de caisson (1)	hauteur de caisson	hauteur sous plafond de	hauteur sous plafond à	longueur partie basse	espace de basculement	base de l'escalier
100 110	60 60-70	25 25	197	216	L 155	72	139-104
			216	237	L 178	95	150-112
			236	258	L 201	118	162-120
			256	280	L 224	141	173-128
120 130	60-70 60-70	25 25	216	237	L 155	49	150-112
			237	258	L 178	72	162-120
			257	280	L 201	95	173-128
			277	301	L 224	118	185-136
140	bois : 70 et 80 alu : 60	25 25	237	258	L 155	25	162-120
			257	280	L 178	49	173-128
			277	302	L 201	72	185-136
			297	323	L 224	95	196-149

(1) les dimensions indiquées correspondent à celles de la trémie dans laquelle sera installée l'escalier, les dimensions réelles du caisson sont inférieures de 1 cm.

Escaliers sur mesure :

- en 2 éléments, bois ou aluminium :
Longueur de 72 cm à 140 cm.
Largeur de 60 cm à 80 cm.
- en 3 éléments, bois ou aluminium :
Longueur de 110 cm à 140 cm.
Largeur de 60 à 80 cm.

Dans ce cas la hauteur sous plafond varie en fonction de la dimension de l'escalier.

DOC. SIPLAST

12.2 ASCENSEURS

TERMINOLOGIE ET DIFFÉRENTS ORGANES

Un ascenseur est essentiellement composé des éléments suivants :

Cabine :
Partie destinée au transport des usagers.

Câbles :
La cabine et le contrepoids sont suspendus par des câbles mus par le treuil.

Contrepoids :
Masse qui contrebalance le poids de la cabine et une partie de la charge.

Treuil :
Organe qui constitue le système d'entraînement et qui comprend sur un même bâti un moteur électrique, un système de freinage et un régulateur de vitesse.

Étrier :
Cadre métallique dans lequel est fixée la cabine. Il est attelé aux organes de suspension et guidé au moyen de coulisseaux.

Parachute :
Organe fixé à l'étrier qui permet, en cas de rupture de la suspension ou de vitesse excessive, de bloquer la cabine.

Gaine :
Espace clos où se déplacent la cabine et le contrepoids. Elle comporte des portes palières correspondant aux niveaux desservis et une réserve dans sa partie inférieure où sont logés les amortisseurs.

CLASSIFICATION

Le DTU 75.1 définit les types d'ascenseurs en fonction des services à assurer :

Type 400
Ascenseur de charge nominale 400 kg comportant une cabine de petites dimensions.

Type 630
Ascenseur de charge nominale 630 kg comportant une cabine de dimensions moyennes permettant le transport des fauteuils roulants « normaux » pour handicapés, des voitures d'enfants et des sapeurs-pompiers.

Type 1000
Ascenseur de charge nominale 1 000 kg comportant une cabine de grandes dimensions permettant en outre le transport des brancards à poignées escamotables, des cercueils et des meubles encombrants.

ÉTABLISSEMENT DU PROGRAMME D'ASCENSEURS DANS LES BÂTIMENTS À USAGE D'HABITATION

DTU 75.1

L'établissement du programme d'ascenseurs prend en compte un ensemble de données :

■ POPULATION (P)

Cette population est le nombre de personnes habitant les niveaux situés au-dessus du hall de départ des ascenseurs.
Cas général : 1 personne par pièce principale + 1 personne par logement.
Immeubles abritant des vacanciers et situés dans les stations de sport d'hiver ou en bord de mer avec accès direct à la plage : 2 personnes par pièce principale + 1 personne par logement.

■ HALL DE DÉPART

Le hall de départ est le lieu auquel accèdent normalement les piétons venant de la voie publique. Lorsqu'un tel accès à un même ascenseur peut être effectué à des niveaux différents, le hall de départ est celui situé au niveau le plus bas.

■ INTERVALLE MAXIMAL PROBABLE (I)

Cet intervalle correspond au temps moyen qui s'écoule, au niveau du hall de départ, entre deux départs consécutifs à la montée d'un appareil.

■ RAPPORT COURSE/VITESSE

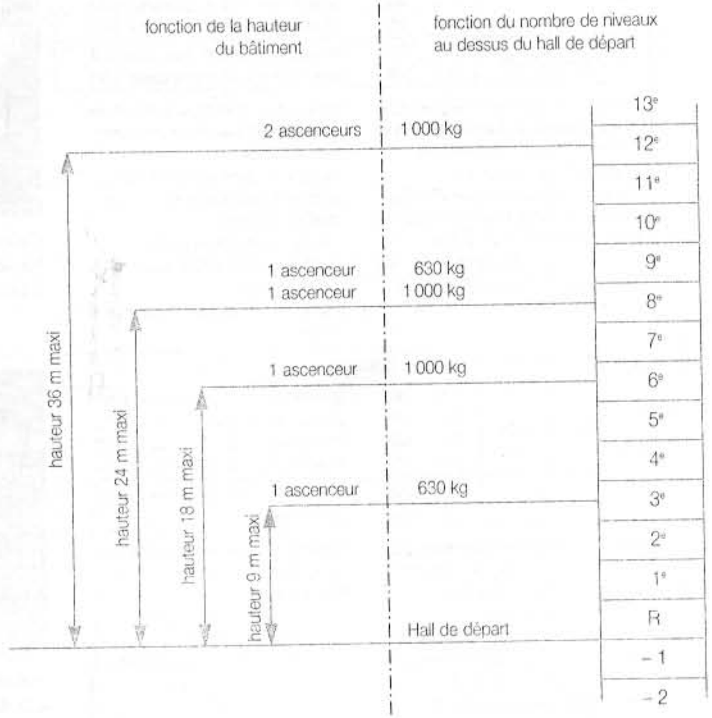
Ce rapport est le quotient de la distance qui sépare les deux niveaux extrêmes desservis par la vitesse nominale de l'ascenseur. La distance est exprimée en mètres et la vitesse nominale en mètres par seconde.

ÉTABLISSEMENT DU PROGRAMME D'ASCENSEURS DANS LES BÂTIMENTS À USAGE D'HABITATION

DTU 75.1 (suite)

■ DÉTERMINATION DU NOMBRE ET DES CARACTÉRISTIQUES DES ASCENSEURS

Dans le cas d'un service moyen, ce nombre et ces caractéristiques sont résumés dans le tableau ci-dessous.



L'équipement minimal sera déterminé en fonction de la condition la plus défavorable.

■ QUALITÉ DU SERVICE

Il faut choisir le rapport course/vitesse qui détermine la vitesse minimale à envisager. Dans le cas d'un service moyen, ce rapport est de l'ordre de 40 secondes et ne dépasse pas 50 secondes.
Il faut ensuite déterminer la population à prendre en compte (P).
Il faut fixer la limite supérieure de l'intervalle maximal probable (I). Elle est de l'ordre de 80 secondes et ne dépasse pas 100 secondes.

■ DÉFINITION DE LA CHARGE, DE LA VITESSE ET DU NOMBRE D'ASCENSEURS

Les chiffres du tableau de la page suivante concernent l'installation d'un seul ascenseur. Ce tableau donne la population desservie et l'intervalle maximal probable en fonction du nombre de niveaux, de la charge en cabine et de la vitesse nominale. Chaque colonne correspond au nombre total de niveaux desservis par l'ascenseur.

- la sous-colonne « P » donne la population maximale pouvant être desservie ;
- la sous-colonne « I » donne l'intervalle maximal probable en secondes correspondant à chaque population.

ÉTABLISSEMENT DU PROGRAMME D'ASCENSEURS (suite)

■ DÉFINITION DE LA CHARGE, DE LA VITESSE ET DU NOMBRE D'ASCENSEURS

vitesse (m/s)	Desserte	Charges minimales (kg)	Nombre total de niveaux desservis y compris hall de départ et parkings																					
			4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14	
			P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I
0,63	Tous les niveaux desservis		188	64	164	73	148	81	136	88	126	95	117	103	109	110								
			226	71	195	82	176	91	160	100	148	108	138	116	129	124								
		630	260	77	225	89	200	100	183	109	168	119	157	127	147	136								
			293	82	250	96	224	109	203	118	188	128	175	137	164	146								
			322	87	277	101	246	114	224	125	206	136	192	146	180	156								
1,00	Tous les niveaux desservis		211	57	190	63	176	68	162	74	154	78	145	83	136	88	130	92	124	97	119	101	113	106
		400	250	64	222	72	205	78	190	84	178	90	167	96	158	101	151	106	144	111	138	116	132	121
			286	70	253	79	230	87	213	94	200	100	189	106	179	112	169	118	163	123	156	128	149	134
		630	320	75	282	85	255	94	235	102	220	109	207	116	197	122	188	128	178	134	171	140	164	146
			354	79	308	91	277	101	257	109	239	117	224	125	212	132	203	138	194	144	185	151	178	157
			386	83	333	96	299	107	276	116	256	125	241	133	229	140	218	147	208	154	200	160	192	167
		1 000	414	87	360	100	321	112	295	122	273	132	257	140	243	148	231	156	221	163	212	170	205	176
			440	91	381	105	342	117	313	128	290	138	272	147	258	155	245	163	234	171	225	178	219	185
			463	95	404	109	361	122	331	133	306	144	288	153	272	162	257	171	246	179	237	186	227	194
	1 niveau desservi sur 2	400											146	82	138	87	130	92	124	97	119	101	113	106
													174	92	163	98	155	103	147	109	140	114	134	119
													200	100	189	106	179	112	169	118	161	124	154	130
		630											224	107	211	114	200	120	189	127	180	133	173	139
													250	112	233	120	220	127	209	134	199	141	189	148
													271	118	254	126	239	134	227	141	216	148	206	153
		1 000											295	122	275	131	259	139	245	147	233	155	222	162
													315	127	294	136	278	144	261	153	248	161	237	169
													336	131	314	140	295	149	278	158	265	166	253	174
1,60	Tous les niveaux desservis		245	49	222	54	207	58	197	61	185	65	176	68	169	71	162	74	156	77	152	79	146	82
		400	286	56	258	62	239	67	225	71	213	75	203	79	195	82	186	86	180	89	174	92	168	95
			323	62	290	69	267	75	250	80	235	85	225	89	215	93	206	97	200	100	192	104	187	107
		630	358	67	320	75	293	82	273	88	258	93	245	98	235	102	224	107	216	111	211	114	203	118
			394	71	350	80	318	88	295	95	277	101	264	106	252	111	241	116	233	120	226	124	219	128
			427	75	376	85	340	94	317	101	296	108	280	114	269	119	258	124	248	129	239	134	232	138
		1 000	456	79	400	90	364	99	336	107	316	114	298	121	283	127	273	132	263	137	254	142	245	147
			482	83	426	94	385	104	354	113	333	120	315	127	299	134	286	140	276	145	267	150	258	155
			506	87	449	98	404	109	372	118	349	126	328	134	314	140	300	147	288	153	278	158	268	164
	1 niveau desservi sur 2	400											182	66	171	70	164	73	158	76	152	79	146	82
													213	75	203	79	193	83	184	87	178	90	172	93
													244	82	230	87	220	91	211	95	202	99	194	103
		630											273	68	258	93	245	98	233	103	224	107	214	112
													298	94	280	100	267	105	255	110	243	115	233	120
													323	99	305	105	288	111	276	116	264	121	254	126
		1 000											346	104	327	110	310	116	295	122	283	127	271	133
													370	108	348	115	331	121	315	127	301	133	288	139
													393	112	370	119	349	126	333	132	319	138	306	144
2,50	Tous les niveaux desservis												200	60	194	62	188	64	182	66	179	67	174	69
		630											228	70	219	73	213	75	208	77	200	80	195	82
													250	80	241	83	233	86	227	88	220	91	215	93
													270	89	261	92	253	95	245	98	238	101	231	104
													289	97	277	101	269	104	262	107	252	111	248	113
													307	104	294	109	286	112	276	116	267	120	260	123
		1 000											325	111	310	116	300	120	290	124	281	128	273	132
													339	118	325	123	313	128	303	132	294	136	286	140
													355	124	341	129	326	135	317	139	306	144	297	148
	1 niveau desservi sur 2												211	57	200	60	194	62	188	64	182	66	176	68
		630											242	66	232	69	225	71	216	74	208	77	203	79
													274	73	263	76	253	79	244	82	235	85	227	88
													304	79	289	83	276	87	267	90	258	93	250	96
													334	84	314	89	301	93	289	97	280	100	269	104
													360	89	340	94	323	99	311	103	299	107	288	111
		1 000											383	94	364	99	346	104	330	109	319	113	308	117
													408	98	385	104	367	109	351	114	339	118	325	123
													432	102	407	108	389	113	370	119	355	124	341	129

ÉTABLISSEMENT DU PROGRAMME D'ASCENSEURS (SUITE)

■ **EXEMPLE :** Immeuble de 7 niveaux au-dessus du hall de départ.

Caractéristiques de l'immeuble :

- population à prendre en compte : 140 personnes ;
- niveaux desservis à prendre en compte : 8 (hall de départ + 7 niveaux) ;
- distance séparant les deux niveaux extrêmes desservis : 19,60 m.

1. Choix de l'intervalle maximal probable : I = 80 secondes.

2. Équipement minimal : un ascenseur de charge nominale 1 000 kg.

3. Vitesse nominale : on se fixe une limite supérieure de 25 secondes pour le rapport course/vitesse, ce qui correspond à une vitesse nominale de 1,00 m/s au moins.

4. La lecture du tableau du DTU 75.1 donne pour un ascenseur 1 000 kg à 1,00 m/s, tous niveaux desservis, les couples de valeurs « P-I » applicables suivants :

P	154	178	200	220	239	256	273	290	306
I	78	90	100	109	117	125	132	138	144

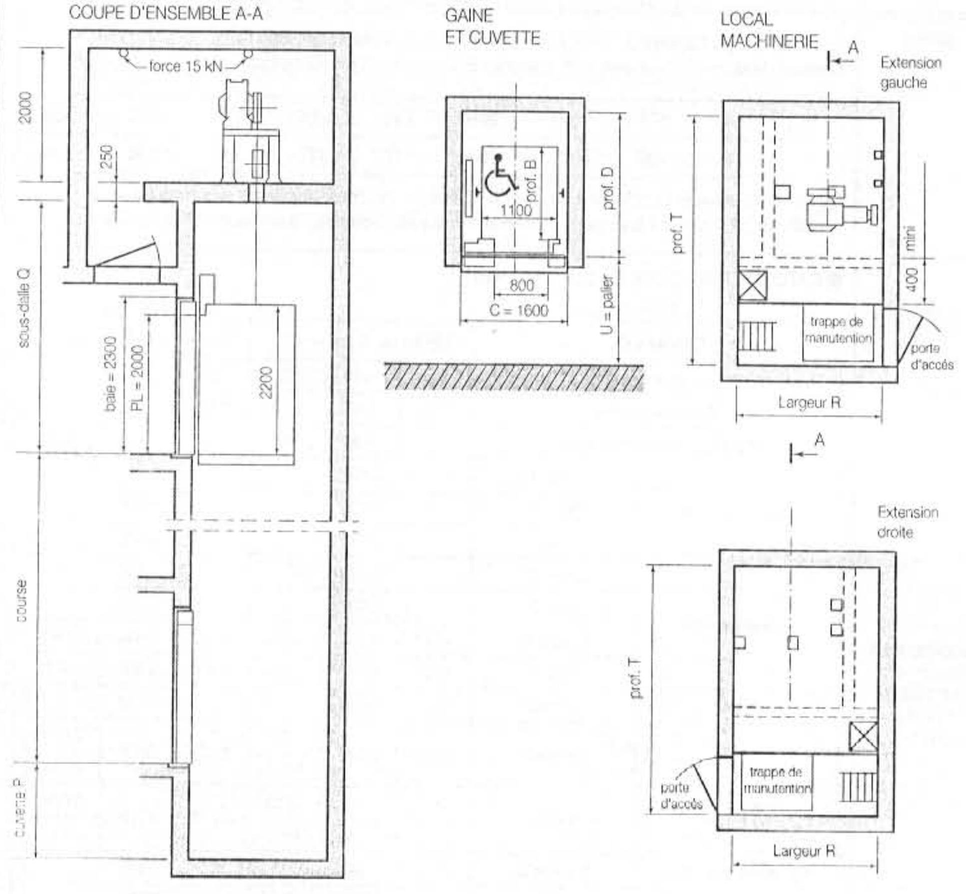
Du fait que, dans le couple de valeurs P = 154 et I = 78, P est supérieur à la population à prendre en compte et I inférieur à l'intervalle maximal probable, la solution est satisfaisante.

ASCENSEURS À ENTRAÎNEMENT PAR TREUIL ET CÂBLES « SORETEX »

■ CARACTÉRISTIQUES ET DIMENSIONS

Charge utile		630 kg ou 8 personnes			1 000 kg ou 13 personnes		
Course maxi en m		35	45	60	35	45	60
Vitesses en m/s		0,63	1,00	1,60	0,63	1,00	1,60
Puissance moteur en kW		5	6,8	16	6,8	10	28,5
Cabine en mm	Larg. A	1 100			1 100		
	Prof. B	1 400			2 100		
	Haut	2 200			2 200		
Gaine en mm	Larg. C	1 600			1 600		
	Prof. D	2 100			2 600		
	S dalle Q	3 700	3 800	4 000	3 700	3 800	4 000
	Cuv P	1 400	1 500	1 700	1 400	1 500	1 700
Palier	U mini	1 500			2 100		
Machinerie en mm	R mini	2 200	2 200	2200 2900	2 400	2 400	2 400 2 900
	T mini	3700	3700	3 500 4050	4 200	4 200	3 900 4300
	S m^2 mini	10			12		
	H	2 000			2 000		
	Trappe	950 x 950		950 x 1450	950 x 950		950 x 1450
	Porte	900 x 2 000			900 x 2 000		
Efforts globaux en kN	Sur dalle	43		50	60		65
	En cuvette	55			55		76

ASCENSEURS À ENTRAÎNEMENT PAR TREUIL ET CÂBLES « SORETEX » (suite)	Transport des personnes Accès aux handicapés sur fauteuil roulant. Portes coulissantes automatiques. Ouverture latérale. Passage libre 800 x 2 000. Entraînement par treuil et câbles.	Machinerie au-dessus de la gaine. **Destination générale :** Immeubles d'habitation. **Norme française :** Normalisé de classe I NF P 82-208



Type 630 ou 8 personnes		Type 1 000 ou 13 personnes
Personnes valides – Fauteuil d'handicapé Voiture d'enfants – Sapeurs-pompiers		Mêmes usages et Civière – Cercueil Meubles encombrants
R + 4 à R + 6	⇐ Service moyen ⇒	R + 7 à R + 8
R + 4 à R + 7 (R + 1 – R + 2 – R + 3 s'il existe 1 ascenseur)	⇐ Inférieur ⇒	R + 8 à R + 10

Remarque : La position de la machinerie à la partie supérieure de la gaine et non contiguë à un logement est la seule qui soit conforme au DTU 75.1 d'octobre 1978 et à la norme NF P 82-208 de juillet 1981.

DOC. SORETEX

13 ISOLATION THERMIQUE

13.1 NOTIONS DE BASE

■ CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

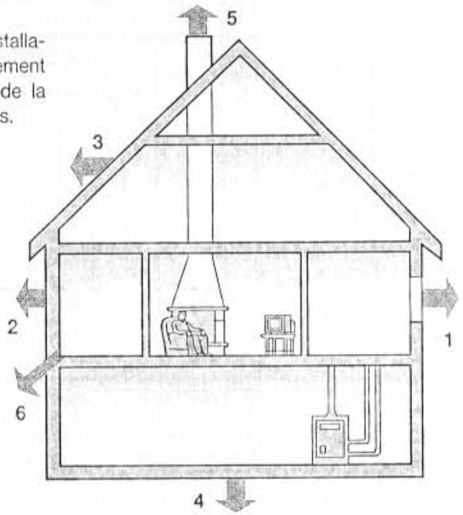
Les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur entraînent des transferts de chaleur. Chaque matériau composant une paroi conduit plus ou moins la chaleur et possède son propre coefficient de conductivité thermique λ (en W/m °C). Plus ce coefficient est faible, plus le matériau est isolant.

■ RÉSISTANCE THERMIQUE

Un isolant thermique est principalement caractérisé par sa résistance thermique R (en m^2 °C/W) qui est la capacité à ne pas diffuser la chaleur pour un matériau et une épaisseur donnée. Une paroi sera d'autant plus isolante que la résistance thermique R de l'isolant sera élevée. Cette valeur est obligatoirement indiquée sur les emballages des produits.

■ DÉPERDITION DE CHALEUR

Leur calcul permet de déterminer l'installation de chauffage. Elles sont directement fonction de la résistance thermique de la paroi et des conditions climatologiques.



1 Portes et fenêtres = 13 %
2 Murs = 16 %
3 Toits = 30 %
4 Sols = 16 %
5 Renouvellement d'air = 20 %
6 Ponts thermiques = 5 %

DOC. ISOVER SAINT-GOBAIN

■ TEMPÉRATURE DE PAROI

En plus de la diminution des déperditions, l'isolation thermique évite le phénomène de paroi froide, source de condensation et d'inconfort.

13.2 PERFORMANCES CERTIFIÉES

Les isolants font l'objet d'un certificat de qualification ACERMI, concrétisé par une étiquette informative précisant leur résistance thermique R et leur classement ISOLE qui détaille leurs niveaux d'aptitudes à l'emploi.

	Aptitude	Niveau
I	Incompressibilité	de 1 à 5
S	Stabilité dimensionnelle	de 1 à 5
O	Comportement à l'eau	de 1 à 3
L	Limite des performances mécaniques en traction	de 1 à 3
E	Perméance à la vapeur d'eau	de 1 à 4

La performance d'un isolant augmente avec le chiffre indiquant son niveau.

Exemple de marquage ACERMI



13.3 ZONES CLIMATIQUES

La réglementation thermique divise la France en trois zones climatiques où les exigences réglementaires concernant l'isolation sont différentes.
La résistance thermique R des isolants est à choisir en fonction de plusieurs critères (climat, ensoleillement, type de paroi, système de chauffage et de ventilation, menuiserie).
Voici quelques fourchettes des **valeurs de R** (en m^2 °C/W) que l'on pourra utiliser en première approximation.



RATIOS

Zone climatique	Zone H1		Zone H2		Zone H3	
Type de chauffage	Electricité	Autre chauffage	Electricité	Autre chauffage	Electricité	Autre chauffage
Murs extérieurs, ou contre local non chauffé	2,5 à 3	2 à 3	2,5 à 3	1,7 à 2,5	2 à 3	2 à 2,5
Toiture en pente – sous chevrons – entre chevrons	4 5	4 5	4 5	4 5	4 5	3 à 4 4 à 5
Plafonds de comble aménagé	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6 à 6,5
Plancher de comble perdu – à solives bois – en béton	5 6,5	5 6,5	5 6,5	5 6,5	5 6,5	4 à 5 6 à 6,5
Plancher bas – sur cave isolée – sur cave non isolée – sur vide sanitaire	2 2,5 à 3 2 à 2,5	1,5 à 2 2 à 3 1,5 à 2,5	2 2,5 à 3 2 à 2,5	1 à 2 1,5 à 2,5 1,5 à 2	1,5 à 2 2 à 3 1,5 à 2,5	1 à 2 1,5 à 2,5 1,5 à 2

13.4 ISOLATION THERMIQUE DES PAROIS VERTICALES

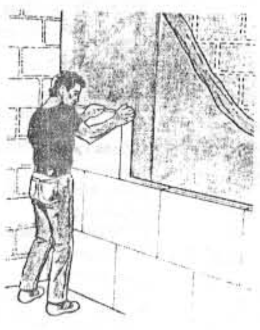
PRINCIPE

Pour isoler thermiquement une paroi verticale (mur porteur, cloison), on peut procéder de trois manières différentes :
1. Réaliser une isolation par l'intérieur de la construction.
2. Réaliser une isolation par l'extérieur de la construction.
3. Construire une paroi directement isolante (isolation répartie).

ISOLATION PAR L'INTÉRIEUR

Il s'agit en fait d'un doublage du mur concerné :
- soit par un **complexe isolant**, plaque de plâtre + isolant thermique, collé sur le mur ;
- soit par une **contre-cloison** associée à un isolant thermique (types 1 et 2).

Type 1
Cloison autostable maçonnée (briques, carreaux de plâtre...)



Type 2
Systèmes avec ossature métallique et plaques de plâtre



DOC. ISOVER

TYPES D'ISOLANTS INTÉRIEURS EN CLOISON DE DOUBLAGE

■ GAMME ISOVER

Dans la gamme Isover Saint-Gobain, le type **PANOLENE** est livré en panneaux semi-rigides (Panolene PB) ou en rouleaux (Panolene PBR).

• Caractéristiques communes
Laine de verre nue ou revêtue sur une face d'un kraft bitumé pare-vapeur
Classement au feu : M0
Comportement à l'eau : non hydrophile

• Niveaux d'aptitude à l'emploi certifiés

PANOLENE	I	S	O	L	E
PBR	1	4	2	2	3
PB nu	1	4	2	2	1
PB revêtu	1	4	2	2	3

• Résistance thermique, dimensions et conditionnement

Panolene PB (panneaux) [grisé]   Panolene PBR (rouleaux) [blanc]

R (m^2°C/W)(1)	4,00	3,20	2,65	2,00	1,60	1,15	3,20	3,20	3,20
Epaisseur (mm)	150(2)	120(2)	100	75	60	45	120	120	120
Longueur (m)	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	7,80	7,80	7,80
Largeur (m)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Nombre de panneaux ou rouleaux par colis	5	6	7	10	12	16	2	2	2
m^2/colis	4,05	4,86	5,67	8,10	9,72	12,96	9,36	9,36	9,36
colis/palette	24	24	24	24	16	16	12	12	12
m^2/palette	97,20	116,64	136,08	194,40	155,52	207,36	112,32	112,32	112,32
palette/camion	18	18	18	18	18	18	16	16	16

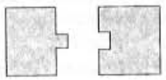
(1) Résistance thermiques certifiées   (2) PB revêtu uniquement

• Mise en œuvre
Dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur, ce type d'isolant se place toujours avec le pare-vapeur vers l'intérieur de la pièce.
L'isolant est soit collé sur le support avec une colle bitumineuse ou similaire, soit inséré entre les rails métalliques et le mur.
Jointoyer si nécessaire avec une bande adhésive.

DOC. ISOVER

■ GAMME STYROFOAM

Type **WALLMATE CW**



Usinage des 4 chants

• Caractéristiques principales
Panneaux en mousse de polystyrène extrudé bleue
Grande insensibilité à l'eau
Résistance à la compression élevée
Classement au feu : M1

• Résistance thermique, dimensions et conditionnement

R (m^2°C/W)	1,05	1,40	1,70	2,05	2,75
Epaisseur (mm)	30	40	50	60	80
Longueur (mm)	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500
Largeur (mm)	600	600	600	600	600
Nombre de panneaux par paquet	14	10	8	7	5

ACERMI

• Mise en œuvre
Wallmate est placé entre le mur et la contre-cloison autostable, il peut être maintenu en place par quelques plots de mortier adhésif.

DOC. STYROFOAM - DOW

ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR

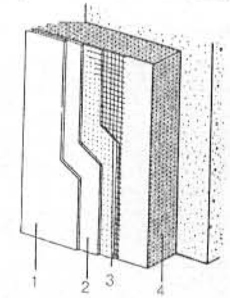
■ TYPES D'ISOLANTS

Tous les systèmes comprennent un isolant rigide ou semi-rigide appliqué directement contre la face extérieure du mur et une peau protégeant celui-ci contre les chocs, les eaux de pluie...

On peut choisir entre :

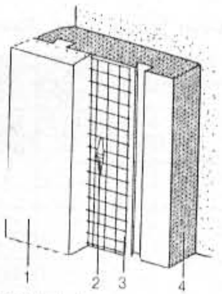
- un enduit mince projeté sur l'isolant (très répandu) – *Fig. 1*
- un enduit hydraulique armé d'un treillis soudé ou en fibres de verre sur l'isolant – *Fig. 2*
- un bardage, vêture, vêtage (voir chapitre 11) – *Fig. 3*
- un contre-mur en briques de parement liai sonnées par des attaches métalliques.

Fig. 1 : Enduit mince sur isolant



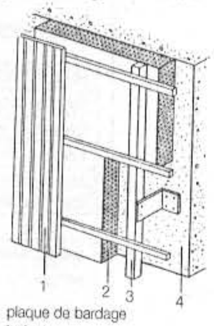
1 couche de finition
2 couche de base ou sous-enduit
3 armature d'enduit
4 isolant

Fig. 2 : Enduit hydraulique sur isolant



1 enduit hydraulique
2 fixation
3 treillis soudé
4 isolant

Fig. 3 : Bardage sur ossature



1 plaque de bardage
2 isolant
3 ossature
4 mur

DOC. GEDIMAI

■ CLASSEMENT THERMIQUE

L'ensemble du système isolant + peau doit satisfaire au critère **R**, résistance thermique, du classement **reVETIR** (voir § 11.1) qui comporte 4 niveaux.

R_1 $0,5 \leq R < 1$ m² °C/W
R_2 $1 \leq R < 2$ m² °C/W
R_3 $2 \leq R < 3$ m² °C/W
R_4 $R \geq 3$ m² °C/W

■ MATÉRIAUX ISOLANTS

On utilise essentiellement des plaques de polystyrène expansé ou extrudé de classement au feu M1 ou des panneaux de laine minérale non hydrophile classés généralement M0.

Les isolants doivent être certifiés **ACERMI** sous le classement minimal **I1 S1 O2 L2 E1**.

Exemple : **Panolene façade** (Isover-Saint-Gobain), panneau ou panneau roulé semi-rigide en laine de verre revêtu sur une face d'un voile de fibre de verre renforcé.

• **Résistance thermique, dimensions et conditionnement**

Panolene (panneaux) [case grisée] Panolene (rouleaux) [case blanche]

	Panneaux			Rouleaux			
R (m²°C/W)(1)	2,65	2,00	1,60	2,65	2,00	1,60	1,20
Epaisseur (mm)	100	75	60	100	75	60	45
Longueur (m)	1,35	1,35	1,35	7,00	10,00	12,00	16,20
Largeur (m)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Nombre de panneaux par colis	7	10	12	2	2	2	2
m²/colis	5,67	8,10	9,72	8,40	12,00	14,40	19,44
colis/palette	20	20	16	12	12	12	12
m²/palette	113,40	162,00	155,52	100,80	144,00	172,80	233,28
palette/camion	18	18	18	16	16	16	16

(1) Résistances thermiques certifiées

• **Niveaux d'aptitude à l'emploi certifiés**

I	S	O	L	E
1	4	2	2	1

MURS À ISOLATION RÉPARTIE

Ils sont principalement constitués par les parois en béton cellulaire (Siporex, Hebel). On les emploie surtout en maison individuelle.

Ce type de matériau bénéficie d'un coefficient de conductivité thermique λ de 0,13 W/m °C pour une masse volumique de 400 kg/m³ qui leur permet de répondre aux différentes exigences thermiques sans ajout d'isolant complémentaire.

En fonction des six niveaux de performances pour l'isolation thermique définis dans le document « *Solutions techniques pour le respect du règlement thermique des maisons individuelles* » (Ministère de l'Équipement – CSTB), on peut se référer aux épaisseurs de Siporex ci-dessous.

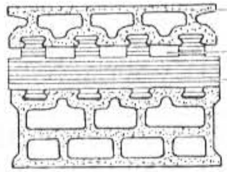
NIVEAU	1	2	3	4	5	6
Exigence en résistance thermique R du Siporex	1,25	1,4	1,5	1,65	1,9	2,2

λu = 0,13-400 kg/m²	MUR EN SIPOREX COLLE AU PREOCOL					
Epais. Siporex (1)	20	20	22,5	25	27,5	32,5
Epais. Mur (avec enduit mince)	22	22	24,5	27	29,5	34,5
Epais. Mur (plaque de plâtre)	23,5	23,5	26,0	28,5	31,0	36,0

	MUR EN SIPOREX MONTE AU MORTIER ISOLANT					
Epais. Siporex (1)	20	20	20	22,5	27,5	30
Epais. total Mur (intérieur plaque de plâtre)	23,5	23,5	23,5	26	31,0	33,5

(1) Blocs SIPOREX collés au Préocol

On trouve aussi des blocs de béton à isolant intégré qui, sans correspondre réellement aux critères de l'isolation répartie, ont la particularité de ne nécessiter qu'une seule intervention : porteur + isolant + doublage. L'isolant utilisé est le plus souvent du polystyrène de 5 à 10 cm d'épaisseur.



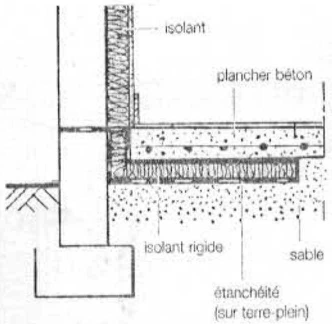
13.5 ISOLATION THERMIQUE DES PAROIS HORIZONTALES

DALLES SUR TERRE-PLEIN

On place sur le terre-plein soigneusement damé un film polyane pour éviter les remontées d'eau par capillarité puis un isolant thermique du type polystyrène expansé ou extrudé sur une largeur de 1 m à 1,20 m uniquement en périphérie de la construction.

On peut en outre relever l'isolant au niveau de la jonction dalle – mur extérieur en vue d'éviter les ponts thermiques à ce niveau et de désolidariser l'ensemble.

Exemple d'isolant dans la gamme **Maestro**



DOC. ISOVER

MAESTRO Therm SA isolation des sols	Dimensions en mm	Panneaux par paquet	m² par paquet	Qualité de surface
	20 x 600 x 1200	20	14,4	lisse
	30 x 600 x 1200	14	10	
	40 x 600 x 1200	10	7,2	

Caractéristiques thermiques		MAESTRO Therm SA		
Certification ACERMI		**92/C/13/281**		
Epaisseurs (mm)		20	30	40
Rés. therm. : R (m²°C/W)		0,70	1,05	1,4
Compression	I	5	5	5
Stabilité dimensionnelle	S	1	1	1
Comportement à l'eau	O	3	3	3
Cohésion	L	4	4	4
Perméance à la vapeur d'eau	E	3	3	4
Réaction au feu (PV CSTB)		M1		

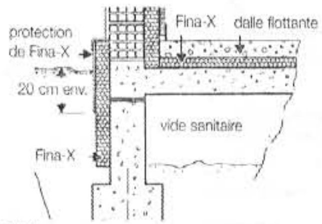
PLANCHER SUR VIDE SANITAIRE OU SOUS-SOL

■ PREMIER CAS : VIDE SANITAIRE NON VENTILÉ OU CAVE PARTIELLEMENT ENTERRÉE

On peut positionner l'isolant à l'intérieur ou l'extérieur (dans ce cas, prévoir une protection) des murs périmétriques de l'ouvrage. On utilise en général des produits à base de polystyrène extrudé (Maestro, Unimat, Isofoam...).

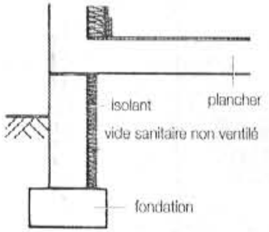
Il reste toujours la possibilité de réaliser une dalle flottante sur isolant pour limiter les déperditions thermiques vers le vide sanitaire ou dans le cas de chauffage par le sol.

Isolant placé à l'extérieur



DOC. FINAX

Isolant placé à l'intérieur (si vide sanitaire accessible)



DOC. ISOVER

■ DEUXIÈME CAS : VIDE SANITAIRE VENTILÉ

Seule une isolation du plancher est efficace, compte tenu de la faible hauteur des vides sanitaires ; on peut retenir 2 solutions :

• **Plancher semi-préfabriqué** à poutrelles et entrevous isolants (polystyrène) avec ou sans languettes, technique utilisée surtout en maison individuelle.

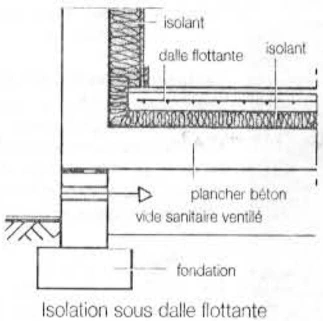


Caractéristiques thermiques des entrevous à languette en polystyrène expansé de la gamme Isobox Henry

Talon de poutrelle			100	120	140
Types d'entrevous	long.	haut.	R (m² °C/W)		
LR 38 et 38 décor	600	180	2,30	2,26	2,23
LR 38 G	600	161	2,30	2,26	2,23
LR 50	600	160	1,66	1,61	1,57
LR 50 G et 50 V	1000	156	1,66	1,61	1,57
LR 57	600	165	1,42	1,40	1,38
LR 57 G	600	161	1,42	1,40	1,38

• **Dalle flottante** en béton armé posé sur un isolant thermique incompressible (laine de roche, polystyrène extrudé).

Exemple : Panneaux de laine de roche Domisol 303 (Isover-Saint-Gobain)



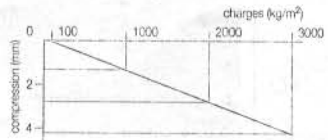
Isolation sous dalle flottante

DOC. ISOVER

Résistances thermiques certifiées ACERMI

R (m² °C/W)	1,15	0,85	0,55	0,45
Epaisseur (mm)	40	30	20	15
Longueur (m)	1,20	1,20	1,20	1,20
Largeur (m)	0,60	0,60	0,60	0,60
Nb panneaux/colis	6	8	12	16
Nb panneaux/palette	108	144	216	288
Surface/palette (m²)	77,76	103,68	155,52	207,36

Résistances à la compression



PLANCHER SUR VIDE SANITAIRE OU SOUS-SOL (suite)

■ TROISIÈME CAS : LOCAL NON CHAUFFÉ (CAVE OU SOUS-SOL) OU PASSAGE OUVERT

En plus des deux techniques précédentes qui restent valables, on préfère généralement isoler le plancher par sa sous-face, ceci permettant d'assurer éventuellement son parement (faux-plafond, etc.).

• **Collage ou fixation mécanique d'un isolant**, panneaux de laine de verre rigide ou polystyrène avec voile de finition ou non.

Exemple : **Sonebel H** (Isover-Saint-Gobain) panneau semi-rigide de laine de verre revêtu sur une face d'un voile de verre. Classement au feu M1.



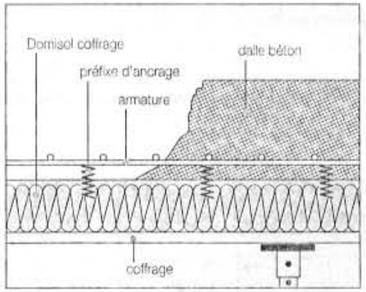
Dimensions et conditionnement

R (m²°C/W)(1)	2,25	1,50	1,00
Epaisseur (mm)	90	60	40
Longueur (m)	1,80	1,80	1,80
Largeur (m)	0,60	0,60	0,60
Nombre de panneaux par colis	5	8	11
m²/colis	5,40	8,64	11,88
colis/camion	168	168	168
m²/camion	907,20	1451,52	1995,84

(1) Résistances thermiques certifiées

• **Isolant positionné en fond de coffrage** avant le coulage d'un plancher béton ou sous prédalles béton avant la préfabrication de celles-ci.

Exemple : **Domisol Coffrage**, panneau de laine de roche solidarisé à la dalle par préfixes d'ancrage. Classement au feu M0.



Dimensions et conditionnement

R(1) m² °C/W	Epais. (mm)	larg. (m)	Long. (m)	Px/ palette	Surface (m²) palette	Surface (m²) camion
3,50	120			18	19,44	505,44
2,65	100			22	23,76	617,76
2,35	90			24	25,92	673,92
2,10	80			28	30,24	786,24
1,85	70	0,90	1,20	32	34,56	898,56
1,60	60			36	38,88	1010,88
1,30	50			44	47,52	1235,52
1,05	40			56	60,48	1572,48
0,80	30			72	77,76	2021,76

(1) Résistances thermiques certifiées

Niveaux d'aptitude à l'emploi certifiés

I	S	O	L	E
2	4	2	2	1

• **Projection mécanique d'un isolant fibreux**, technique de moins en moins usitée car ce type de matériau ne supporte aucun choc et dégage en vieillissant des particules de matière.

DOC. ISOVER

13.6 ISOLATION THERMIQUE DES COMBLES

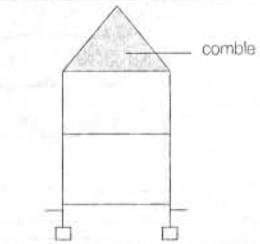
DÉFINITIONS

Comble : Volume compris entre la toiture en pente d'une construction et le plancher haut de son dernier niveau.

On distingue :

- les combles perdus qui ne sont pas destinés à un aménagement,
- les combles aménagés ou aménageables qui sont destinés à une habitation immédiate ou différée.

Du fait de ces spécificités, les techniques employées pour isoler thermiquement ces ouvrages seront différentes.

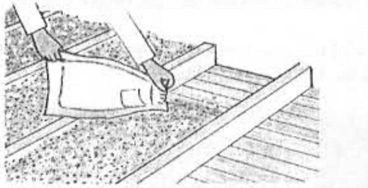


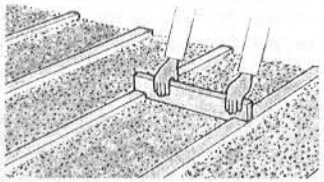
COMBLES PERDUS

Les trois techniques ci-dessous se réfèrent au DTU 40 (couvertures)

PREMIÈRE TECHNIQUE

Épandage à la main ou soufflage à la machine de laine de verre ou laine de roche en vrac entre les solives du plancher. L'épaisseur de l'isolant se vérifie à l'aide d'une jauge. L'application d'un pare-vapeur est rendue inutile si le comble est ventilé (cas général).





DOC. CASTORAMA

Types de produits utilisés

• Soufflage machine : Isolene 2 Vert

performances thermiques, pouvoirs couvrant et isolant

R(1) m² °C/W	Epais. (mm)	Poids moyen à déposer au m² en Kg/m²	Surface indicative couverte par un sac de 15 kg en m²/sac
5,9	35	3,1	4,8
5,3	32	2,8	5,4
4,7	28	2,5	6,0
4,2	25	2,2	6,8
3,6	22	1,9	7,9
3,0	18	1,6	9,4
2,5	15	1,3	11,5
1,9	11	1,0	15,0

(1) Résistances thermiques certifiées

• Épandage manuel : laines combles

performances thermiques, pouvoirs couvrant et isolant

R(1) m² °C/W	Epais. (mm)	Surface indicative couverte par un sac de 18 kg en m²/sac
6,0	25	1,80
4,8	20	2,20
3,6	15	3,00
2,4	10	4,50

(1) Résistances thermiques certifiées

Ces deux produits bénéficient du classement au feu M0 (incombustibles).

DEUXIÈME TECHNIQUE

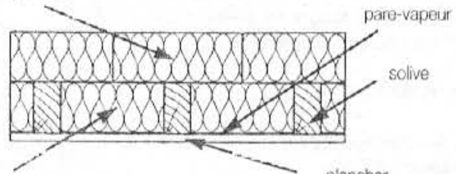
Utilisation de panneaux de polystyrène ou de laine minérale en une seule couche ou deux couches croisées.

Exemple : dans la gamme Rockwool

Description	panneau souple, revêtu d'un pare-vapeur kraft polyéthylène					panneau souple, nu	
R (m²°C/W)	2,50	3,50	4,00	4,50	5,00	2.00	2,50
Epaisseur (cm)	10	14	16	18	20	8	10
Longueur (cm)	120	120	120	120	120	120	120
Largeur (cm)	60	60	60	60	60	60	60
Réaction au feu						M0	
N^{os} ACERMI	87/A/15/123					87/A/15/123	

Rockplan kraft 205.116 (grisé)

Rockplan 205 (blanc)



DOC. ROCKWOOL ISOLATION

Important

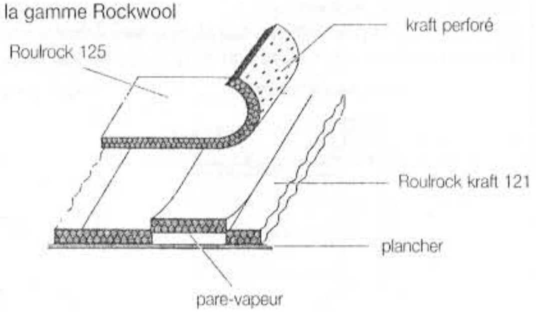
Dans le cas de deux couches d'isolant, la couche supérieure doit être dépourvue de pare-vapeur (exemple Rockplan 205) ou bien voir son pare-vapeur lacéré pour éviter toute stagnation d'humidité entre les 2 couches.

COMBLES PERDUS (suite)

TROISIÈME TECHNIQUE

Emploi de rouleaux de laine minérale en deux couches croisées déroulées sur la surface à isoler. Les précautions relatives au pare-vapeur restent identiques à la technique n° 2.

Exemple : dans la gamme Rockwool



Roulrock kraft 121 (grisé) Roulrock 125 (blanc)

Description	rouleau, revêtu d'un pare-vapeur kraft polyéthylène								rouleau, revêtu d'un kraft perforé (non par-vapeur)				
R (m²°C/W)	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
Epaisseur (cm)	6	8	10	12	14	16	18	20	6	8	10	12	14
Longueur (cm)	800	600	500	400	350	300	270	270	800	600	500	400	350
Largeur (cm)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Réaction au feu													
N^{os} ACERMI	87/A/15/123								87/A/15/123				

DOC. ROCKWOOL ISOLATION

COMBLES AMÉNAGÉS

PRINCIPE GÉNÉRAL

Il s'agit en premier lieu de réaliser l'isolation thermique au niveau des rampants, soit à l'intérieur du comble, soit à l'extérieur de celui-ci. S'il existe des murs, ils seront traités conformément au § 13.4.

PREMIÈRE TECHNIQUE : ISOLATION PAR L'INTÉRIEUR

On utilise de la laine minérale en rouleaux et panneaux ou des panneaux de polystyrène extrudé que l'on fixe entre (ou sur) les chevrons ou les fermettes de la couverture. Il existe des procédés en une ou deux couches croisées, chaque fabricant ayant son propre système de fixation.
Le parement intérieur est assuré le plus souvent par des plaques de plâtre ou un lambris.
Exemple : IBR Monocouche (Isover-Saint-Gobain), rouleau de laine de verre utilisé en une seule couche, classement au feu M0.

Système **Préfixe** entre pannes ou sous fermettes.

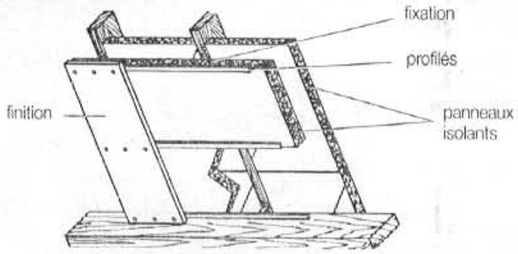


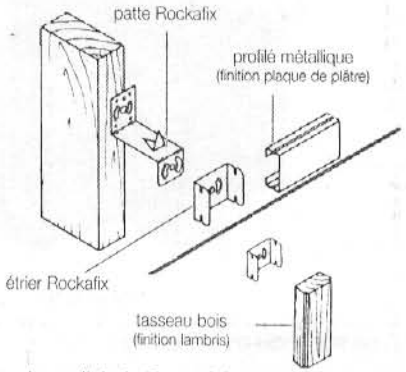
DOC. ISOVER

Le sytème **Préfixe** s'applique à tous les types de charpentes (avec pannes apparentes ou non et avec fermettes).
Les pattes **Préfixe** 220 ou 300 sont fixées sur les chevrons ou les fermettes, ensuite l'IBR monocouche est embroché sur les pattes qui sont conçues pour recevoir l'ossature du sous-plafond. Un cavalier retient la laine avant la pose du sous-plafond. Selon le type de plafond ou la longueur d'écartement, on utilisera l'une ou l'autre des pattes métalliques.

Préfixe	Ep. maxi (mm)	Habillage
220	220	Plâtre/lambris
300	300	Plâtre

Autre type de solution : deux couches de panneaux en laine de roche, système Rockwool.





COMBLES AMÉNAGÉS (suite)

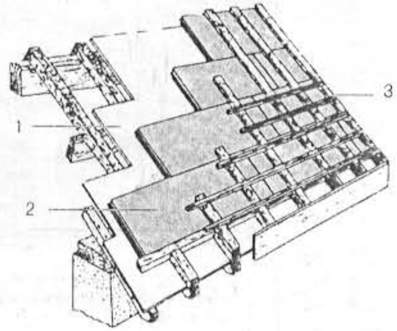
Dans tous les cas, une lame d'air de 2 cm minimum est indispensable entre le matériau de couverture et l'isolant.

DOC. ROCKWOOL ISOLATION

■ DEUXIÈME TECHNIQUE : ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR (OU SARKING)

Le système se compose :

1- d'un écran rigide (panneau de particules) cloué sur les chevrons ou fermettes ;
2- de panneaux isolants en polystyrène extrudé ou laine de roche ;
3- d'un réseau de liteaux + contre-liteaux cloués à travers l'isolant à l'aplomb des chevrons servant de support de couverture.



Produit	Roofmate STD-TG			
Nature	Polystyrène extrudé			
Longueur (m)	2,50	2,50	2,50	2,50
Largeur (m)	0,60	0,60	0,60	0,60
Epaisseurs (m)	60	80	90	100
R en m² °C/W (Acermi)	2,4	3,2	3,6	4

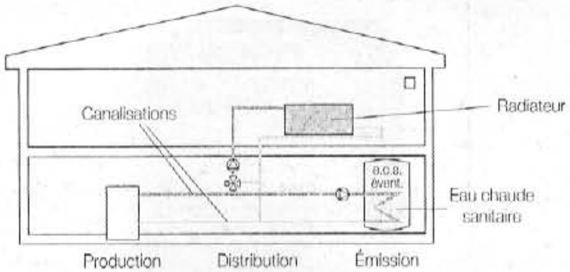
L'écran rigide peut être décoré en sous-face pour faire office de plafond.
L'avantage de ce type d'isolation étant une continuité parfaite (pas de ponts thermiques).
Ce procédé est compatible avec tous les systèmes de couverture traditionnelles.

DOC. STYROFOAM - DOW

14 CHAUFFAGE

L'étude se limitera aux installations de chauffage à eau chaude avec une production centralisée.

Un exemple d'installation peut être schématisé sous cette forme :



14.1 PRODUCTION DE CHALEUR

Les différents types de production peuvent être assurés par :
- des chaudières (fioul, gaz, électrique, bois, charbon, etc.),
- des pompes à chaleur (air/eau, eau/eau, etc.),
- des échangeurs de chaleur (géothermie),
- des panneaux solaires.

On se limitera à la présentation de la production de chaleur par chaudières (fioul, gaz) et pompes à chaleur (air/eau et eau/eau).

CHAUDIÈRES FIOUL ET GAZ

■ CARACTÉRISTIQUES COMMUNES

Les chaudières fonctionnant au fioul sont généralement :
- positionnées au sol,
- équipées d'un brûleur à air soufflé (réglage du débit d'air nécessaire à la combustion par volet).

Références GT, GTM et GTU			113	114	115
Puissance		kW	16 à 21	21 à 27	27 à 33
Contenance en eau		litres	19	24,5	30
Perte de charge eau pour Δt = 15 K[1]		mbar*	1,7	2,8	4,1
Volume du circuit de fumées		litres	31	41	51
Chambre de combustion	Diamètre inscrit	mm	240	240	240
	Profondeur	mm	308	435	562
	Volume	litres	16	21	26
Débit massique des fumées[1, 2]	fioul domestique	kg/h	38	49	60
	au gaz naturel	kg/h	34	44	54
Dépression nécessaire à la buse[1, 3]		mbar*	0,2	0,25	0,25
Nombre d'accélérateurs de convection			3	2	2
Nombre d'éléments de la chaudière			3	4	5
Poids de la chaudière	GT/GT DIEMATIC	kg	121	149	177
	GTM/GTM DIEMATIC	kg	128	156	184
	GTU/GTU DIEMATIC	kg	134	162	190

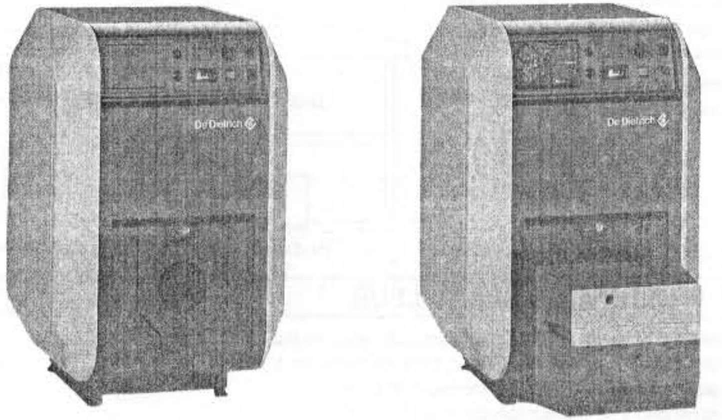
1. *À l'allure nominale (puissance haute de la chaudière).*
2. *CO_2 = 12 % au fioul et 9 % au gaz naturel.*
3. *Dépression au foyer de 0,05 mbar incluse.*

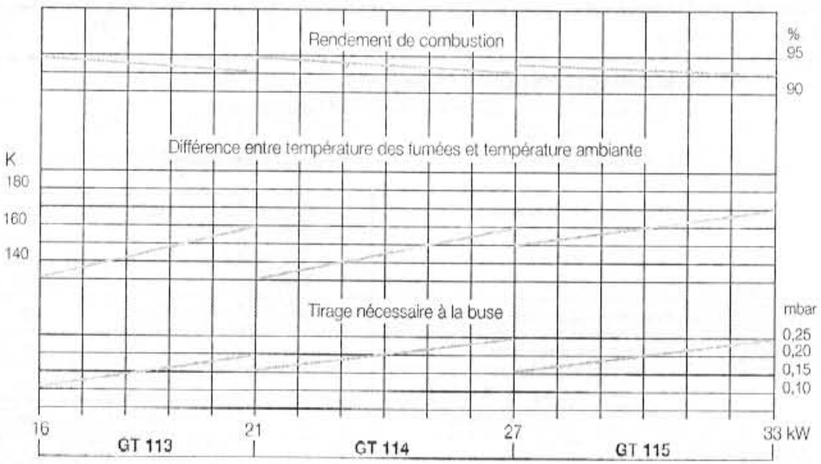
* *Nota : l'unité de pression est le pascal (1 N par m²). Néanmoins les fabricants, dans leur catalogue, utilisent encore le bar (1 bar = 10^5 Pa).*

DOC. DE DIETRICH

CHAUDIÈRES FIOUL ET GAZ (suite)

Chaudières au sol équipées de brûleurs à air soufflé fioul ou gaz





■ PERFORMANCES

Température chaudière : 80-60 °C ; Fioul domestique : CO_2 = 13 %

Nota : les performances annoncées ci-dessus sont équivalentes au gaz naturel H, à CO_2 de 10 %.

1 K = 1 °C ; 1 mbar équivaut en pratique à 10 mm de colonne d'eau ou à 100 Pa.

DOC. DE DIETRICH

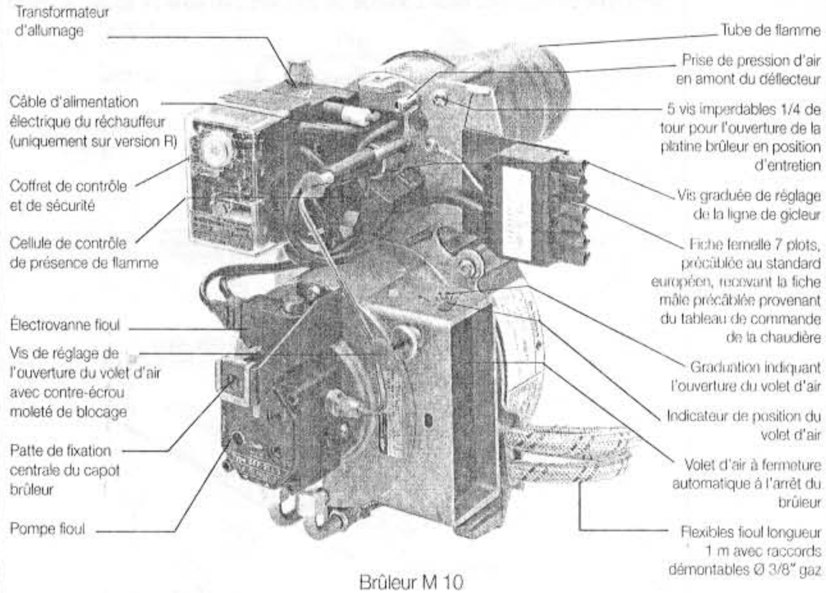
BRÛLEUR FIOUL À AIR SOUFFLÉ

■ CARACTÉRISTIQUES DES BRÛLEURS FIOUL – M 10 POUR GTM 1100 V

Les brûleurs fioul M 10 sont des brûleurs « 1 allure » particulièrement compacts et spécialement étudiés pour obtenir, associés à chacune des chaudières De Dietrich qu'ils équipent, les meilleures performances : hauts rendements et qualité de combustion.

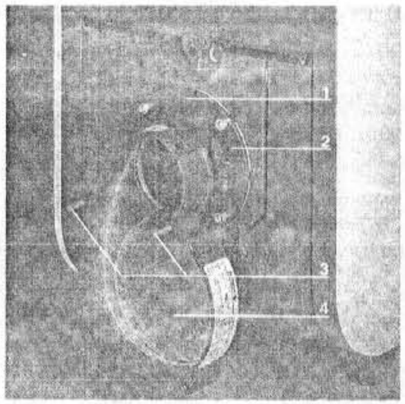
Ils sont entièrement préréglés en usine dans la plage de puissance de chacune des chaudières qu'ils équipent (volet d'air, tête de combustion, pression fioul). De ce fait leur mise à feu peut avoir lieu dès l'installation terminée.

BRÛLEUR FIOUL À AIR SOUFFLÉ (suite)



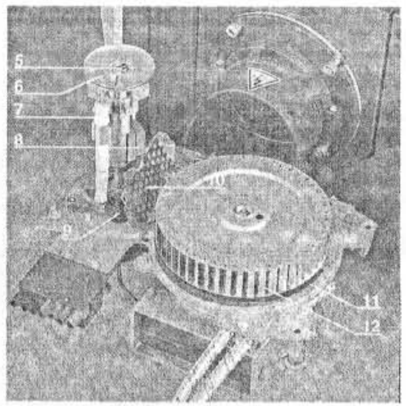
Brûleur M 10

■ BRÛLEUR EN POSITION D'ENTRETIEN



Volute brûleur

1 - Repère de positionnement vertical du brûleur
2 - Bride de fixation
3 - Ergots de fixation de la platine brûleur en position d'entretien verticale
4 - Volute



Platine brûleur en position d'entretien

5 - Gicleur
6 - Déflecteur
7 - Électrodes d'allumage
8 - Réchauffeur fioul (version R)
9 - Cellule de contrôle de présence de flamme
10 - Stabilisateur-diffuseur du flux d'air à l'entrée du tube de flamme
11 - Profilé aéraulique garantissant :
  - un rendement de ventilation élevé dans un faible volume
  - une réinjection et une surpression d'air dans la turbine
12 - Turbine puissante procurant :
  - une pression disponible élevée à la tête de combustion
  - une bonne stabilité de la flamme
  - une bonne hygiène de combustion

DOC. DE DIETRICH

BRÛLEUR FIOUL À AIR SOUFFLÉ (suite)

GTM		1103 R/130 V	1104 R/130 V	1104/130 V	1105/130 V	
Brûleur	avec réchauffeur	M 16 R	M 17 R	-	-	
	sans réchauffeur	-	-	M 17	M 18	
Préréglage[1] (puissance chaudière)	kW	20	25	25	30	
Puissance moteur[2]	W	70	70	70	70	
Puissance maxi absorbée[3]	W	250	250	170	170	

1. Altitude 400 m. 2. 230 V, 50 Hz. 3. Moteur + transformateur d'allumage + réchauffeur fioul pour modèles R.

BRÛLEUR GAZ À AIR SOUFFLÉ

Les chaudières fonctionnant au gaz sont généralement :
- positionnées au sol ou contre un mur,
- équipées d'un brûleur à air soufflé ou d'un brûleur atmosphérique.

■ BRÛLEURS À GAZ (GAZ NATUREL)

Type Calypso 3 – réf. : 155-40 – 25000 à 60000 kcal/h – 29 à 70 kW
Type Calypso 8 – réf. : 155-80 – 50000 à 120000 kcal/h – 58 à 140 kW
Type Calypso 10 – réf. : 155-100 – 80000 à 180000 kcal/h – 93 à 209 kW



• Description

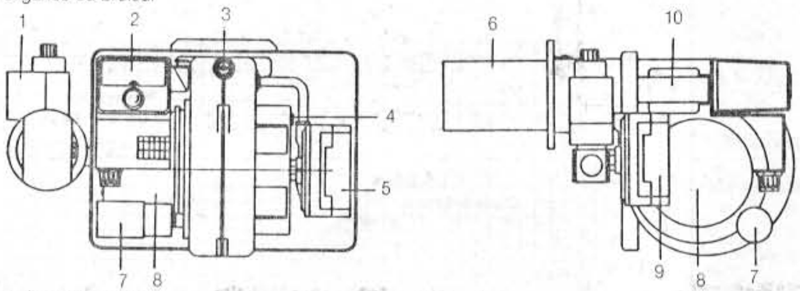
Brûleurs gaz à air soufflé pour gaz naturel.
Tête de combustion de haute performance permettant d'obtenir un mélange optimal air-gaz pour une combustion totale.
Allumage progressif, ce qui évite les à-coups au démarrage.
Trois sécurités :
- contrôle de flamme par électrode d'ionisation,
- contrôle de la pression minimale du gaz par un pressostat gaz,
- contrôle du manque d'air par pressostat air.

Facilité d'installation et de réglage ; la rampe gaz peut être raccordée à gauche ou à droite.

• Option

Tête de brûleur spéciale pour adaptation au propane.

Organes du brûleur

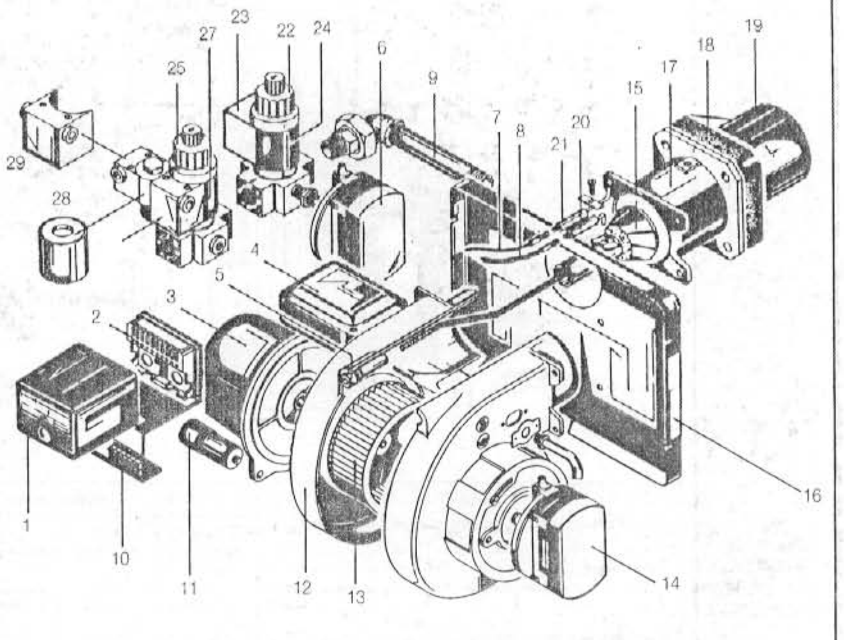


1 - Électrovanne gaz
2 - Coffret de sécurité
3 - Vis réglage tête de combustion
4 - Vis blocage volet d'air
5 - Pressostat air
6 - Gueulard
7 - Condensateur
8 - Moteur ventilateur
9 - Pressostat gaz
10 - Transformateur

DOC. FRANCO-BELGE

BRÛLEUR GAZ À AIR SOUFFLÉ (suite)

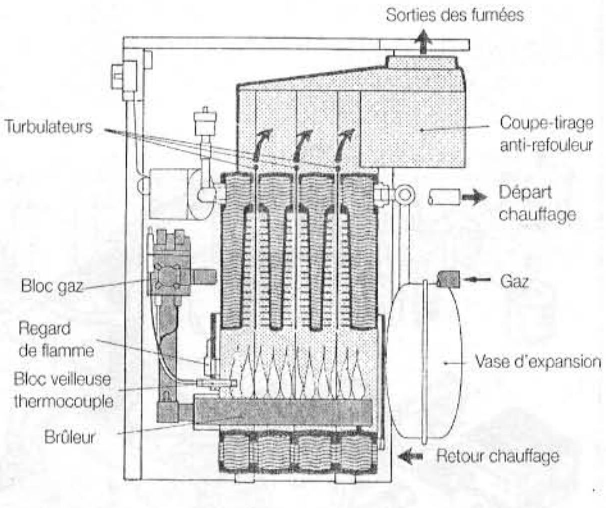
Vue éclatée Calypso 3, 8 et 10



1 - Coffret de sécurité
2 - Socle coffret
3 - Moteur
4 - Transformateur
5 - Vis réglage tête
6 - Pressostat gaz
7 - Câble d'ionisation
8 - Câble d'allumage
9 - Tuyauterie
10 - Bornier
11 - Condensateur
12 - Volute
13 - Turbine
14 - Pressostat air
15 - Tête de combustion
16 - Support
17 - Bride
18 - Joint d'amiante
19 - Gueulard
20 - Électrode d'allumage
21 - Électrode d'ionisation
22 - Électrovanne gaz
23 - Circuit imprimé (vanne) Calypso 3
24 - Bobine (vanne)
25 - Électrovanne gaz Calypso 8 et 10
26 - Circuit imprimé (vanne) Calypso 8 et 10
27 - Bobine (vanne) Calypso 8 et 10
28 - Bobine (vanne allumage)
29 - Circuit imprimé (vanne allumage) Calypso 8 et 10

Remarque : les brûleurs fioul ou gaz à air soufflé peuvent s'adapter indifféremment sur le corps de la chaudière au sol.

DOC. FRANCO-BELGE



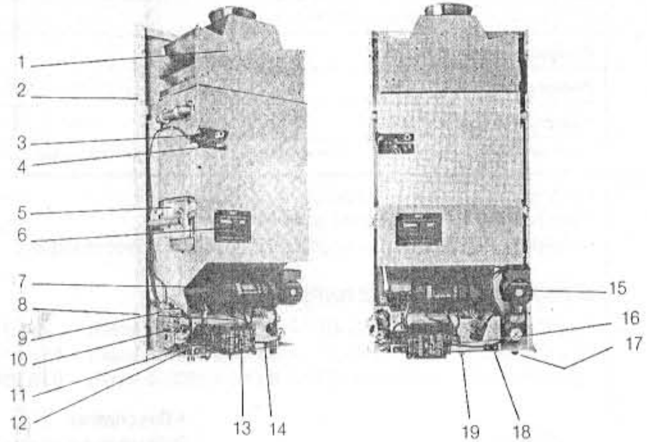
CHAUDIÈRE MURALE À BRÛLEUR GAZ ATMOSPHÉRIQUE

Caractéristiques techniques et performances		Version simple			
		GHR 951.17.01	GHR 951.25.01	GHR 951.33.01	GHR 951.39.01
Puissance calorifique nominale	kW kcal/h	17,5 15 000	25,6 22 000	33,3 28 640	39,5 34 000
Plage de puissance d'utilisation	kW	10 à 17	16 à 25	24 à 33	30 à 39
Nombre d'éléments du corps de chauffage		3	4	5	6
Diamètre de la buse	Ø mm	139	139	153	153
Départ chauffage	Ø mm	40 × 49	40 × 49	40 × 49	40 × 49
Retour chauffage	Ø mm	40 × 49	40 × 49	40 × 49	40 × 49
Contenance en eau	litre	8	11	14	17
Pression hydraulique maximale	bar	3	3	3	3
Alimentation gaz	Ø mm	20 × 27	20 × 27	20 × 27	20 × 27
Tension d'alimentation (50 Hz)	V	220	220	220	220
Contenance du vase d'expansion (p 1,5 bar)	litre	–	–	–	–
Débit de gaz (fonctionnement continu) – gaz naturel Lacq (18 mbar) – gaz naturel Groningue (25 mbar)	 m^3/h m^3/h	 2,23 2,53	 3,18 3,70	 4,22 4,77	 5,01 5,67
Type d'injecteur gaz naturel	Ø mm	2,2	2,7	3,0	3,2
Pression gaz au brûleur Lacq Groningue	mbar mbar	12 17,7	11,7 15,6	12,7 17,7	12,6 17,4
Type de brûleur		518/9	519/9	520/9	521/9
Diaphragme entrée bloc gaz	Ø mm	4,9	5,6	7,4	8,2
Poids avec anti-refouleur	kg	104	130	152	176

Note : 1 bar = 10^5 Pa.

DOC. FRANCO-BELGE

CHAUDIÈRE MURALE À BRÛLEUR GAZ ATMOSPHÉRIQUE (suite)



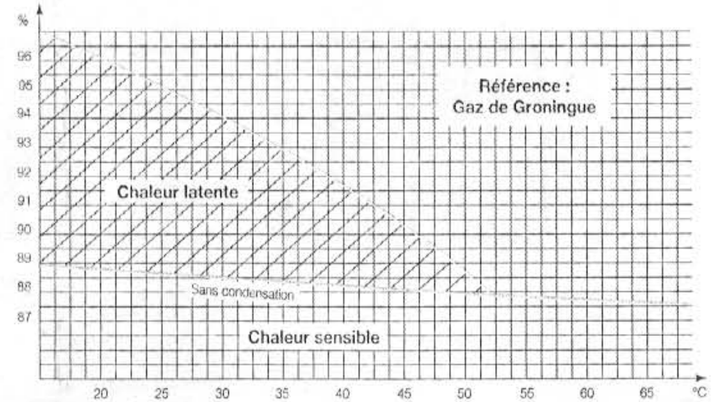
1 - Boîte à fumée et anti-refouleur incorporé
2 - Dosseret
3 - Sonde de température d'eau chaude chaudière
4 - Sonde de température maximale
5 - Brûleur
6 - Plaque signalétique
7 - Domotica
8 - Sonde d'eau chaude sanitaire
9 - Prise de pression gaz brûleur
10 - Électrovanne gaz Honeywell
11 - Arrivée gaz 1/2≤
12 - Vanne directionnelle trois voies
13 - Transformateur
14 - Câble de raccordement électrique
15 - Circulateur
16 - Manomètre
17 - Retour chauffage
18 - Arrivée eau froide sanitaire
19 - Remplissage et vidange

DOC. FRANCO-BELGE

CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION

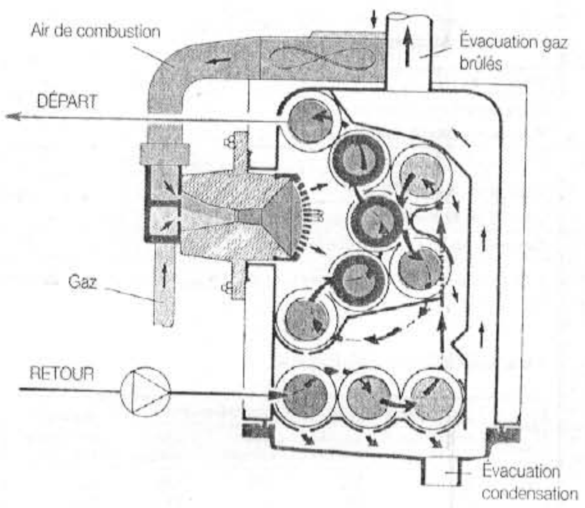
Les chaudières à condensation fonctionnant au gaz permettent de récupérer l'énergie contenue dans la vapeur d'eau des fumées, afin d'améliorer le rendement.

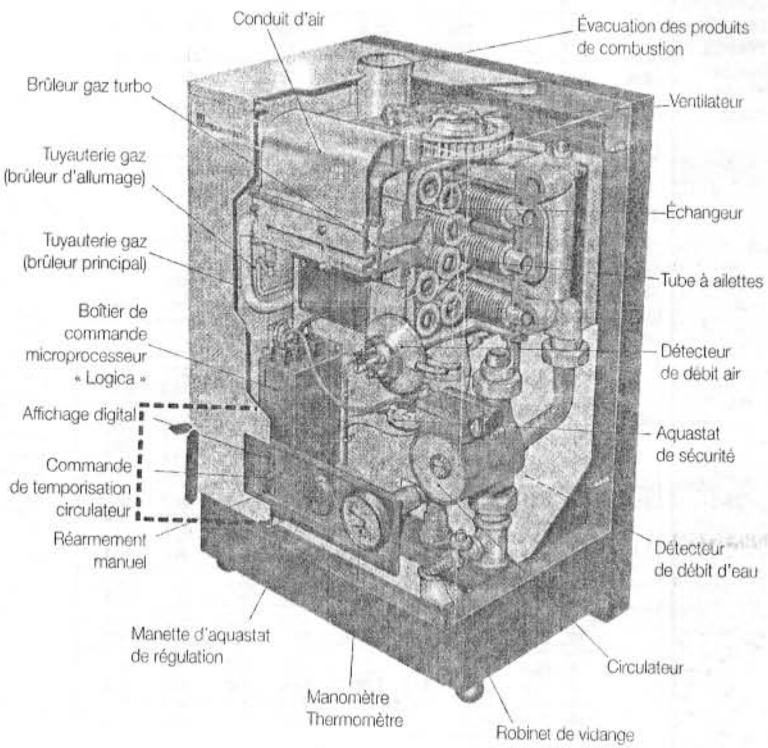
Rendement chaudière GTL sur PCS par rapport à la température de retour de l'installation :



DOC. FRANCO-BELGE

CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION (suite)





DOC. FRANCO-BELGE

CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION (suite)

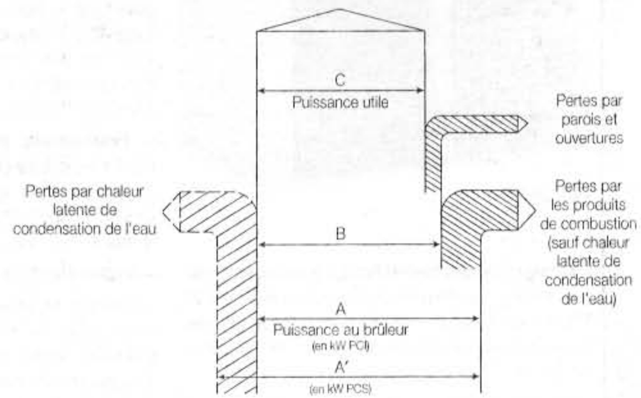
CARACTÉRISTIQUES ET PERFORMANCES		GTL 19	GTL 28
Puissance calorifique nominale	kW kcal/h	18,5 16 000	27,9 24 000
Puissance calorifique température générateur 70 °C	kW kcal/h	18,5 16 000	27,9 24 900
Puissance calorifique température générateur 45 °C	kW kcal/h	19,3 16 600	30 25 800
Rendement sur PCS, eau 45 °C	%	93 %	93,4 %
Plage de puissance d'installation	kcal/h	8 à 16 000	14 à 24 000
Dimensions (encombrement) : – largeur – profondeur – hauteur	 mm mm mm	 475 345 830	 585 345 830
Diamètre de la buse d'évacuation	Ø	70	80
Départ et retour chauffage	Ø	26/34	26/34
Alimentation gaz (entrée)	Ø	15/21	15/21
Évacuation des condensations	Ø	32	32
Contenance en eau du corps de chauffe	l	2,5	3,6
Pression hydraulique maximale	*bar	4	4
Température maximale de l'eau	°C	90	90
Tension d'alimentation (50 Hz)	V	220	220
Puissance électrique absorbée totale maximale	W	150	150
Poids	kg	49,2	56,5
Débit spécifique eau chaude (soutirage continu)	1/mm		
Pression maximale utilisation du circuit sanitaire	bar		

Nota : l'unité de pression est le pascal (1 N par m²). Néanmoins les fabricants, dans leur catalogue, utilisent encore le bar (1 bar = 10^5 Pa).

Pour toute chaudière, il est possible de définir deux rendements exprimés en fonction du PCI ou du PCS :

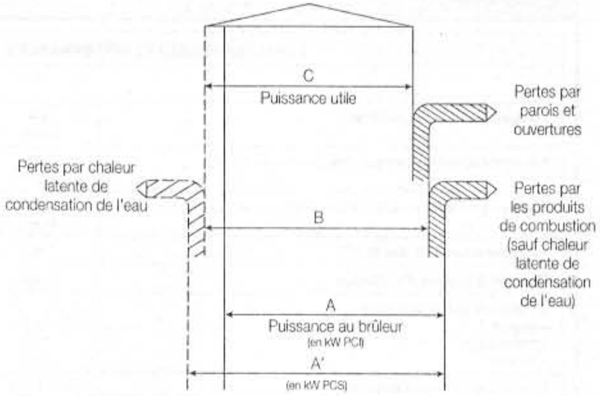
- rendement de combustion (hc) qui tient compte des pertes thermiques par les fumées,
- rendement utile (hu) qui tient compte des pertes thermiques par les fumées et par les parois de la chaudière.

■ PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTS RENDEMENTS



Appareils sans condensation

CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION (suite)



Appareils à condensation

Sur PCI : $\eta_u = C/A$ et $\eta_c = B/A$

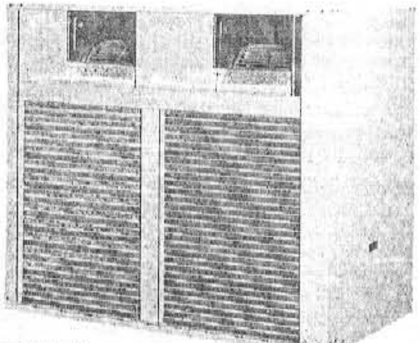
Sur PCS : $\eta_u = C/A'$ et $\eta_c = B/A'$

POMPES À CHALEUR

Les pompes à chaleur **air/eau** peuvent être installées dans tous les cas car l'énergie captée par l'évaporateur est prise sur l'air (air extérieur, air intérieur).

■ REFROIDISSEURS DE LIQUIDES ET POMPES À CHALEUR AIR-EAU

Froid 18 - 65 kW
Chaud 21 - 73 kW
5 modèles 30 YQ 005 - 007 - 010 - 015 - 020.
Production d'eau chaude jusqu'à 55 °C.
Unités destinées aux montages intérieurs, avec canalisation possible du circuit d'air de la batterie extérieure.



Réf. 30 YQ

DOC. CARRIER

- **Compresseurs hermétiques** à moteurs protégés thermo-électriquement, isolation antivibratile interne et externe, refroidissement par les gaz aspirés, soupape de sûreté interne, réchauffeurs de carter.

- **Échangeur extérieur** R22-air (condenseur l'été, évaporateur l'hiver) - 4, 5 ou 6 rangs selon modèle.
Pression d'épreuve : 3000 kPa. 30 YQ 007 - 020 : 2 batteries.

- **2 ventilateurs centrifuges** double ouïe, à action, équilibrés (30 YQ 005 : 1 ventilateur). Moteurs à protection IP 55, protection thermique, transmissions poulies/courroies.

- **2 échangeurs intérieurs** R22-eau (évaporateur l'été condenseur l'hiver), à plaques, haute efficacité (30 YQ 005 : 1 échangeur) : système permettant davantage d'échange pour moins de surface. Échange à courants parallèles en froid, à contre-courant en chauffage. Thermostat antigel.
Diamètre des connexions d'eau entrée/sortie (filet gaz mâle) : 1 1/14 ≤ (30 YQ 005, 007), 1 1/2 ≤ (30 YQ 010), 2 ≤ (30 YQ 015, 020).

- **Pressostats HP et BP**, temporisation contre les cycles courts du (des) compresseur (s), démarrages alternés des compresseurs des 30 YQ 007 - 020 pour égaliser les temps d'usure.

- **Boîtier électrique** normalisé VDE.

- **Caisson en acier galvanisé** peint au phosphate, puis revêtement à base de résine de polyester cuite à 220°. Isolation thermo-acoustique des panneaux latéraux.

REFROIDISSEURS DE LIQUIDES ET POMPES À CHALEUR AIR-EAU (suite)

- **Accessoires**
- Grille de protection de l'échangeur extérieur.
- Démarrage hiver (jusqu'à - 15 °C) par registre motorisé sur l'aspiration de l'échangeur extérieur.

- **Caractéristiques physiques**

Modèle 30 YQ		005	007	010	015	020
Puissance frigorifique nominale[1]	kW	17,7	24,9	34,3	51,9	65,3
Puissance calorifique nominale	kW	21,1	29,8	39	57,1	73,3
Poids en fonctionnement	kg	265	335	390	600	650
Charge de fluide R22	kg	6,5	2 × 4,3	2 × 6	2 × 8,8	2 × 10,1
Débit d'air nominal échangeur extérieur	l/s	2 140	2 700	3 125	5 555	6 480
Capacité en eau échangeur intérieur	l	2,28	3,22	4,56	5,12	5,70

1. Basée sur 6,7 °C de température de sortie d'eau glacée et 35 °C de température d'entrée d'air à l'échangeur R22-air.

- **Caractéristiques électriques**

Modèle 30 YQ	Alimentation électrique[1] V (3 ph 50 Hz)	Unité complète ICF	Compresseurs FLA chaque	Compresseurs LRA chaque	Moteur ventilateur FLA
005	230	172	22,5	135	6,4
	400	90	13	69	3,7
007	230	173	15	117	6,4
	400	95	8,5	63	3,7
010	230	199	22,5	135	6,4
	400	106	13	69	3,7
015	230	259	27	170	9,2
	400	156	16	105	5,3
020	230	307	36	208	9,2
	400	187	21	130	5,3

1. Limites de tensions : 198-242 V pour 230 V ; 342-440 V pour 400 V.
FLA – Intensité à pleine charge, A.
LRA – Intensité au démarrage, A.
ICF – Intensité instantanée maxi, A.

- **Puissances frigorifiques, kW**

Modèle 30 YQ	LWT °C	25 TC	25 kW	30 TC	30 kW	35 TC	35 kW	40[1] TC	40[1] kW
005	5	18,8	7,46	17,7	7,7	16,8	8	15,3	8,5
	6	19,3	7,54	18,3	7,8	17,4	8,2	16	8,6
	8	20,5	7,69	19,4	8	18,5	8,4	17,2	8,9
	10	21,9	7,86	20,7	8,2	19,8	8,6	18,4	9,1
007	5	28,4	11,4	25,9	11,6	23,3	11,8	20,6	12
	6	29,5	11,7	26,9	11,8	24,2	12	21,6	12,3
	8	31,6	12,2	28,7	12,3	26,2	12,5	23,6	12,9
	10	33,6	12,5	30,5	12,6	28,1	12,9	25,6	13,3
010	5	38,1	15,6	35,1	15,9	32,1	16,2	29,2	16,8
	6	39,2	15,7	36,2	16,2	33,4	16,4	30,3	16,9
	8	41,5	16	38,5	16,4	35,6	16,7	32,5	17,2
	10	43,7	16,1	40,7	16,6	37,6	16,9	34,6	17,4
015	5	58,6	21,2	53,5	21,8	48,1	22,7	43	23,7
	6	60,9	21,6	55,1	22	50,6	22,8	45,4	23,8
	8	64,6	22	56,7	22,7	54,2	23,3	49,2	24,4
	10	67,8	22,1	62,6	22,8	57,3	23,3	52,2	24,5
020	5	69,9	26,6	66	27,6	61,5	28,7	56,2	30
	6	71,6	26,8	67,8	28	63,6	29,3	58,2	30,6
	8	74,9	27,2	71,2	28,5	67,2	30,1	62,1	31
	10	78,3	27,7	74,9	28,9	70,9	30,7	65,8	32,2

(Température de l'air extérieur, °C)

1. La température extérieure maxi pour les modèles 30 YQ 005, 010, 020 est 46 °C ; 30 YQ 007, 015 : 49 °C.
LWT – Température de sortie d'eau glacée, °C.
TC – Puissance frigorifique, kW.
kW – Puissance absorbée compresseur (s). Puissances basées sur une différence de température d'eau glacée entrée/sortie de 5,7 °C (limites admises sur DT : 2,8 à 8,4 °C) ; facteur d'encrassement échangeur R22-eau 0,000 044 m² °C/W ; débit d'air nominal.

• Perte de charge d'eau échangeur R22-eau, kPa

Modèle 30 YQ	Débit d'eau l/s 0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
005	1,4	2,2	2,9	3,9	4,8	6	7	9,5	12,5	15	23	47	75	–	–	–	–	–
007	–	1,4	1,8	2,5	3	3,8	4,5	6,5	8,5	10,5	16	33	52	85	–	–	–	–
010	–	–	–	–	1,5	1,9	2,3	3,2	4,2	5,2	8	17	28	43	59	77	100	–
015	–	–	–	–	–	1,5	1,8	2,5	3,3	4,2	6,2	13	22	33	46	62	75	95
020	–	–	–	–	–	–	1,6	2,2	2,9	3,7	5,5	12	20	30	41	43	70	90

• Puissances calorifiques, kW

Modèle 30 YQ	OAT	Température de sortie d'eau chaude, °C 35			45			55		
		CAP	kW	COP	CAP	kW	COP	CAP	kW	COP
005	– 10	14,1	7,1	1,99	11,6	7,4	1,58	9,8	7,8	1,26
	0	19,9	7,2	2,75	12	7,6	2,37	16	8,2	1,95
	6	23,8	7,6	3,15	22	7,9	2,79	19,7	8,5	2,31
	18	32,5	8,1	4,03	30,5	8,7	3,51	28,3	9,3	3,04
007	– 10	15,7	7,8	2,01	13,3	8,4	1,59	10,9	9,3	1,17
	0	26,6	10	2,65	24,2	10,9	2,23	21,8	12,1	1,81
	6	33,5	11	3,05	31	11,8	2,63	28,6	12,9	2,21
	18	46,1	12	3,84	44,3	12,9	3,42	41,9	14	3,00
010	– 10	20,8	10	2,07	16,1	10,1	1,60	11,3	11	1,03
	0	35,7	13,1	2,73	31,7	13,9	2,27	27	15,1	1,79
	6	46	14,8	3,10	41,3	15,3	2,70	36,6	16,5	2,22
	18	73,9	19,1	3,88	59,2	17,1	3,46	54,4	18,3	2,98

Modèle 30 YQ	OAT	Température de sortie d'eau chaude, °C 35			45			55		
		CAP	kW	COP	CAP	kW	COP	CAP	kW	COP
015	– 10	29,3	13	2,25	26,2	14,9	1,76	23,5	17,2	1,36
	0	49,5	17,2	2,88	46,4	19,7	2,36	43,2	22,2	1,95
	6	61,3	18,9	3,24	58,4	21,4	2,73	55	23,8	2,31
	18	85	21,5	3,96	82,8	23,9	3,46	79,4	26,1	3,04
020	– 10	32,5	15,3	2,13	24,5	16,3	1,50	18	16,8	1,07
	0	66	23,1	2,86	57,1	24,6	2,32	50,6	26,8	1,89
	6	84,5	25,7	3,29	77,9	28,1	2,77	71	30,3	2,34
	18	123,5	29,5	4,19	117,2	31,9	3,67	110	33,9	3,25

Ne pas extrapoler.
Facteur d'encrassement échangeur R22-eau : 0,000044 m² °C/W ; débit d'air nominal.

OAT – Température de l'air extérieur, °C. **CAP** – Puissance calorifique, kW. **kW** – Puissance absorbée compresseur (s).
COP – Coefficient de performance, kW/kW.

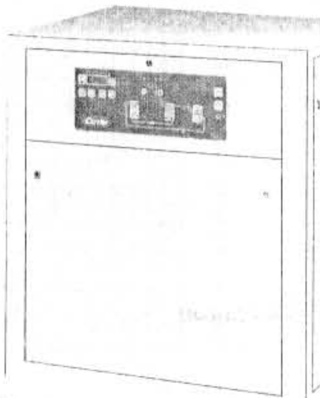
POMPES À CHALEUR EAU-EAU

Les pompes à chaleur **eau/eau** ne peuvent être installées que dans le cas où il existe à proximité de l'installation une source d'eau gratuite (rivière, lac, nappe phréatique, etc.).

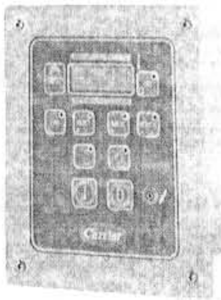
■ REFROIDISSEURS DE LIQUIDES ET POMPES À CHALEUR EAU-EAU

Froid 13 – 37 kW – Chaud 17 – 47 kW

6 modèles 30 SQ 004 – 005 – 006 – 007 – 009 – 011. Monoblocs de dimensions extrêmement réduites. Très bon rapport poids/puissance. 2 échangeurs eau-eau intérieurs à plaques. Commande à distance en accessoire.



Réf. 30 SQ



Commande à distance (accessoire)

DOC. CARRIER

REFROIDISSEURS DE LIQUIDE ET POMPES À CHALEUR EAU-EAU (suite)

– **Panneau de commande électronique digital** avec affichage des consignes de température, programme de mode de fonctionnement, lampes témoins de l'état des protections, poussoirs de marche et arrêt. Commande à distance possible.

– **1 compresseur hermétique** par unité, avec silencieux de refoulement et suspension antivibratile incorporés. Protection thermo-électrique noyée dans les enroulements du moteur. Soupape de sûreté interne sur la haute pression. Moteur refroidi par les gaz aspirés. Lubrification forcée. Réchauffeur de carter.

– **Câblages électriques internes** entièrement exécutés en usine, conformes aux normes VDE. Seuls les raccordements individuels de l'entrée de puissance, du circuit de commande et du réchauffeur de carter sont à réaliser sur place.

– **Circuit frigorifique** parfaitement hermétique, testé avant livraison.

– **Habillage** en tôles d'acier galvanisé, châssis robuste. Réduction du niveau sonore du compresseur obtenue par des panneaux revêtus d'un matériau absorbant.

• Caractéristiques physiques

Modèle 30 SQ		004	005	006	007	009	011
Puissance frigorifique nominale [1]	kW	13,5	16,2	20,8	23,5	29	36,7
Puissance absorbée nominale (froid)	kW	3,4	4,3	5,8	6,3	8,2	10,7
Puissance calorifique nominale [2]	kW	16,9	20,3	25,8	29,7	37,8	47,3
Puissance absorbée nominale (chaud)	kW	4,3	5,3	7,2	8	10,5	13,4
Poids en fonctionnement	kg	133	135	146	175	184	196
Capacité en eau de chaque échangeur	l	1,24	1,24	1,6	1,9	2,28	2,85

1. Basée sur un régime d'eau glacée 12/7 °C et un régime d'eau du condenseur 29/35 °C.
2. Basée sur une température de sortie d'eau chaude de 50 °C, et une température d'entrée d'eau à l'évaporateur de 16 °C.

• Caractéristiques électriques

Modèle 30 SQ	Alimentation électrique V-ph-Hz [1]	FLA Froid	Chaud	LRA	Calibre des fusibles A
004	230-3-50	10,6	12,9	92	25
	400/415-3-50	6,15	7,5	51	16
005	230-3-50	13,3	15,7	117	32
	400/415-3-50	7,7	9,1	63	20
006	230-3-50	17,2	21,2	135	36
	400/415-3-50	10	12,3	69	20

Modèle 30 SQ	Alimentation électrique V-ph-Hz [1]	FLA Froid	Chaud	LRA	Calibre des fusibles A
007	230-3-50	18,6	22,9	126	40
	400/415-3-50	10,8	13,3	78,5	25
009	230-3-50	23,2	28,5	170	50
	400/415-3-50	13,4	16,5	105	32
011	230-3-50	30,4	37,3	208	63
	400/415-3-50	17,6	21,6	130	40

1. Limites de tension : 198-242 V (230 V) ; 342-440 V (400/415 V). **FLA** - Intensité à pleine charge, A. **LRA** - Intensité au démarrage, A.

• Puissances frigorifiques, kW

Modèle 30 SQ	LWT °C	Température d'entrée d'eau au condenseur, °C 20 CAP	20 EER	30 CAP	30 EER	35 CAP	35 EER	40 CAP	40 EER
004	5	13,7	4,5	12,6	3,8	11,5	3,2	10,6	2,7
	6	14,1	4,6	13	3,9	11,9	3,3	11	2,8
	8	14,9	4,8	13,8	4,1	12,7	3,4	11,7	2,9
	10	15,7	4,9	14,6	4,2	13,5	3,5	12,6	3
005	5	15,4	4,1	14,7	3,4	13,2	2,9	11,7	2,4
	6	16,1	4,3	15,4	3,6	13,9	3	12,2	2,5
	8	17	4,5	16,3	3,8	15	3,2	13,5	2,7
	10	17,4	4,5	16,6	3,8	15,8	3,4	14,6	2,9
006	5	22,2	4,2	18,6	3,3	16,7	2,8	15	2,4
	6	23	4,3	19,5	3,4	17,6	2,9	15,8	2,5
	8	24	4,4	21,2	3,6	19,3	3,2	17,5	2,7
	10	25,1	4,6	22,7	3,8	21	3,4	19,1	2,9
007	5	25,2	4,5	21,5	3,4	19,4	2,9	16,9	2,4
	6	26,2	4,6	22,4	3,6	20,3	3	18	2,5
	8	28,4	4,8	24,2	3,8	22	3,3	20	2,7
	10	30	5,1	25,9	4	24	3,5	22	3
009	5	31,5	4,2	27,1	3,3	25	2,8	23	2,4
	6	32,4	4,3	28,1	3,4	25,7	2,9	23,8	2,5
	8	33,9	4,5	29,7	3,5	27,5	3,1	25,2	2,6
	10	35,4	4,7	31,4	3,7	29	3,2	26,8	2,7
011	5	38,2	3,9	33,8	3,2	31,1	2,8	28,8	2,4
	6	39,3	4	34,9	3,3	32,4	2,9	30	2,5
	8	41,5	4,2	36,9	3,4	34,7	3	32,1	2,6
	10	43,7	4,3	39	3,6	37	3,2	34,4	2,8

CAP – Puissance frigorifique, kW. **EER** – Production frigorifique spécifique.
LWT – Température de sortie d'eau glacée.
Puissances basées sur une différence des températures d'eau au condenseur de 5,7 °C.

• Puissances calorifiques, kW

Modèle 30 SQ	EWT °C	Température de sortie d'eau chaude, °C 35 CAP	35 COP	45 CAP	45 COP	55 CAP	55 COP
004	10	15,9	4,9	14,8	4,1	13,8	3,2
	14	17,5	5,1	16,4	4,3	15,4	3,4
	16	18,2	5,2	17,1	4,4	16,1	3,5
	20	19,7	5,4	18,7	4,6	17,7	3,7
005	10	19,3	4,6	18,2	3,9	17,2	3,3
	14	20,6	4,7	19,5	4	18,6	3,4
	16	21,3	4,8	20,7	4,1	19,3	3,5
	20	22,6	4,9	21,5	4,2	20,6	3,6
006	10	25,4	4,3	23,8	3,6	22	3
	14	27,2	4,5	25,5	3,8	23,8	3,2
	16	28,1	4,6	26,4	3,9	24,8	3,3
	20	29,7	4,7	28,1	4	26,5	3,4
007	10	28,3	4,6	25,9	3,7	23,9	2,9
	14	31	4,8	28,8	4	26,6	3,1
	16	32,5	4,9	30,2	4,1	28,1	3,3
	20	35,4	5,2	33	4,4	30,9	3,5
009	10	34,5	4,3	32,2	3,6	29,9	2,8
	14	39	4,6	36,6	3,8	34,7	3,1
	16	40,8	4,8	38,7	4	36,8	3,2
	20	44	5	42	4,2	40,3	3,4
011	10	44,6	4,3	43	3,5	41,8	2,9
	14	47,6	4,5	46,2	3,7	44,9	3,1
	16	49,2	4,6	47,7	3,8	46,5	3,2
	20	52,3	4,7	50,8	4,1	49,6	3,4

CAP – Puissance calorifique, kW. **COP** – Coefficient de performance.
EWT – Température d'entrée d'eau à l'évaporateur.

• **Perte de charge d'eau des échangeurs, kPa**[1]

Modèle 30 SQ	Débit d'eau, l/s														
	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,80	1	1,25	1,50	2	2,5
004, 005	3	3,5	4,5	6,5	9	12	15	22	30	50	75	–	–	–	–
006	–	2	2,5	4	5,5	7	9	13	18	30	44	65	90	–	–
007	–	–	2	3,5	4,5	6	7,5	11	15	25	36	55	75	–	–
009	–	–	–	2	3	4	5	6,5	10	17	25	36	52	85	–
011	–	–	–	–	2	3	4	5,5	7,5	13	19	28	40	65	95

1. Valeurs convenant indifféremment aux échangeurs intérieur et extérieur.

Pour toute pompe à chaleur, il est possible de définir un coefficient de performance (COP) qui est représenté par le rapport de la puissance calorifique obtenue au condenseur (CAP) sur la puissance électrique consommée par le compresseur et les équipements auxiliaires (kW).

14.2 ÉMISSION

Lois d'émission de chaleur

Les lois d'émission sont données par la relation :

Moyenne de la différence de température entre les deux fluides (eau et air) qui peut être arithmétique ou logarithmique suivant la précision souhaitée

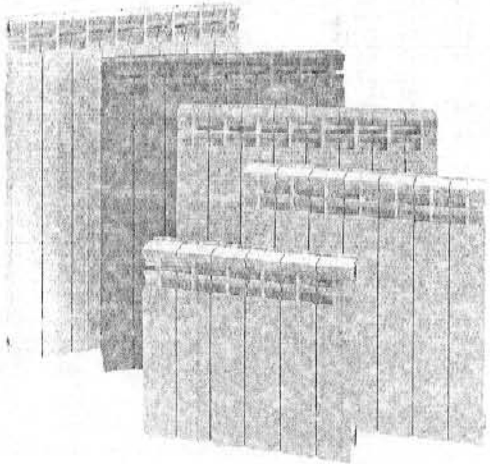
Puissance échangée entre l'eau de l'émetteur et l'air ambiant en W —— $P = Kg\,(\Delta T_m)^n$ —— Coefficient caractérisant l'émetteur ayant les valeurs suivantes :
- radiateurs : $n = 1{,}3$
- convecteurs : $1{,}1 \leq n \leq 1{,}4$
- ventilo-convecteurs/aérothermes : $n = 1$
- planchers rayonnants : $n = 1$

Coefficient global d'échange thermique de l'émetteur en W/K. Dans cette relation, Kg dépend de la surface de l'émetteur et des niveaux de température (eau et air)

RADIATEURS

Ils se caractérisent par une grande contenance en eau, sont constitués de différents matériaux (fonte, acier, fonte-aluminium, etc.) et peuvent se présenter sous différentes formes (plats, épais, bas, hauts, pleins, ajourés, etc.).

Exemples de radiateurs :



Caractéristiques pour un élément
TOP épaisseur : 80 mm

	Puissance watts Δt 60 °C	Hauteur mm	Largeur mm	Poids kg
35	114	425	80	1,12
50	151	575	80	1,45
60	175	675	80	1,70
70	198	775	80	1,83
80	221	875	80	2,00

DOC. RAG ALL

RADIATEURS (suite)

■ PUISSANCES THERMIQUES POUR UN ÉLÉMENT

Δt 20 °C à 89 °C (watt) (eau/air)

TOP 35

Δt°C		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
20°	26,5	28,3	30,1	31,9	33,7	35,6	37,5	39,4	41,3	43,3
30°	45,3	47,3	49,3	51,3	53,4	55,4	57,5	59,6	61,8	63,9
40°	66,1	68,3	70,5	72,7	74,9	77,2	79,4	81,7	84,0	86,3
50°	88,7	91,0	93,4	95,7	98,1	101,0	103,0	105,0	108,0	110,0
60°	114,0	115,0	118,0	120,0	123,0	125,0	128,0	130,0	133,0	135,0
70°	138,0	141,0	143,0	146,0	149,0	151,0	154,0	156,0	159,0	162,0
80°	165,0	167,0	170,0	173,0	175,0	178,0	181,0	184,0	187,0	189,0

TOP 50

Δt°C		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
20°	34,6	37,0	39,3	41,7	44,2	46,6	49,1	51,7	54,2	56,8
30°	59,4	62,1	64,8	67,5	70,2	73,0	75,8	78,6	81,4	84,3
40°	87,2	90,1	93,0	96,0	98,9	102,0	105,0	108,0	111,0	114,0
50°	117,0	120,0	124,0	127,0	130,0	133,0	136,0	140,0	143,0	146,0
60°	151,0	153,0	156,0	160,0	163,0	166,0	170,0	173,0	177,0	180,0
70°	184,0	187,0	191,0	194,0	198,0	201,0	205,0	208,0	212,0	216,0
80°	219,0	223,0	227,0	230,0	234,0	238,0	241,0	245,0	249,0	253,0

TOP 60

Δt°C		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
20°	40,3	43,0	45,7	48,5	51,4	54,3	57,2	60,2	63,2	66,2
30°	69,3	72,4	75,5	78,7	81,9	85,1	88,4	91,7	95,0	98,4
40°	102,0	105,0	109,0	112,0	116,0	119,0	123,0	126,0	130,0	133,0
50°	137,0	141,0	144,0	148,0	152,0	156,0	160,0	163,0	167,0	171,0
60°	175,0	179,0	183,0	187,0	191,0	195,0	199,0	203,0	207,0	211,0
70°	215,0	219,0	223,0	227,0	232,0	236,0	240,0	244,0	248,0	253,0
80°	257,0	261,0	266,0	270,0	274,0	279,0	283,0	287,0	292,0	296,0

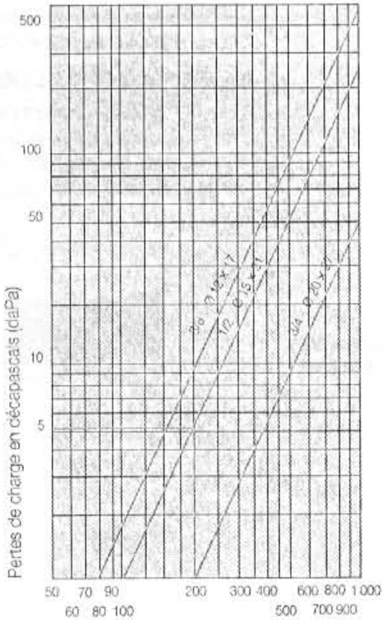
TOP 70

Δt°C		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
20°	45,2	48,3	51,4	54,6	57,8	61,1	64,4	67,7	71,1	74,5
30°	78,0	81,5	85,0	88,6	92,3	95,9	99,6	103,0	107,0	111,0
40°	115,0	119,0	123,0	126,0	130,0	134,0	138,0	142,0	147,0	151,0
50°	155,0	159,0	163,0	167,0	172,0	176,0	180,0	185,0	189,0	193,0
60°	198,0	202,0	207,0	211,0	216,0	220,0	225,0	229,0	234,0	239,0
70°	243,0	248,0	253,0	257,0	262,0	267,0	272,0	276,0	281,0	286,0
80°	291,0	296,0	301,0	306,0	311,0	316,0	321,0	326,0	331,0	336,0

TOP 80

Δt°C		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
20°	50,6	54,0	57,5	61,0	64,6	68,2	71,9	75,7	79,5	83,3
30°	87,2	91,1	95,1	99,1	103,0	107,0	111,0	116,0	120,0	124,0
40°	128,0	133,0	137,0	141,0	146,0	150,0	155,0	159,0	164,0	169,0
50°	173,0	178,0	183,0	187,0	192,0	197,0	202,0	207,0	212,0	216,0
60°	221,0	226,0	231,0	236,0	241,0	247,0	252,0	257,0	262,0	267,0
70°	272,0	278,0	283,0	288,0	294,0	299,0	304,0	310,0	315,0	320,0
80°	326,0	331,0	337,0	342,0	348,0	354,0	359,0	365,0	370,0	376,0

Pertes de charge des radiateurs



mm CE* . 0,981 daPa   Débit en kg/h

*(millimètre de colonne d'eau)

• **Exemple de calcul :**

Données :
- débit 200 kg/h,
- diamètre 1/2 (15 x 21).

Solution :
- Perte de charge : 5,5 daPa

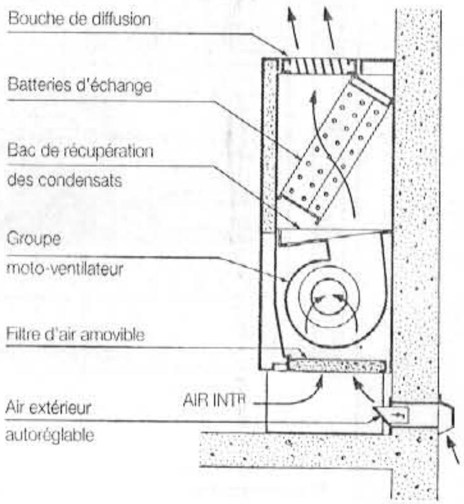
DOC. RAG ALL

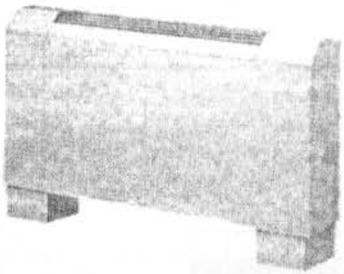
CONVECTEURS ET VENTILO-CONVECTEURS

Ils se caractérisent par une petite contenance en eau et sont munis d'ailettes afin d'augmenter la surface pour augmenter les échanges thermiques.
La convection est libre dans les convecteurs, et forcée à l'aide d'un ventilateur dans les ventilo-convecteurs.

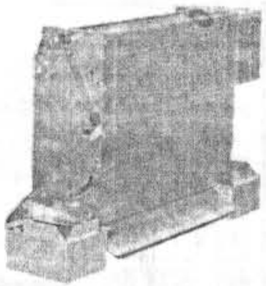
- **Principe de fonctionnement**

Le ventilateur aspire l'air à travers un filtre, soit à l'intérieur du local, soit mitigé intérieur et extérieur si l'appareil est muni d'une prise d'air extérieur.
Cet air est pulsé dans le local à climatiser au travers de la batterie d'échange, où il est réchauffé, ou refroidi et déshumidifié, suivant que celle-ci est alimentée en eau chaude ou en eau glacée.

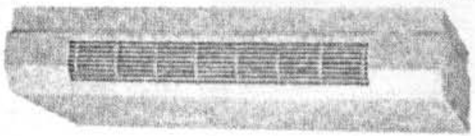




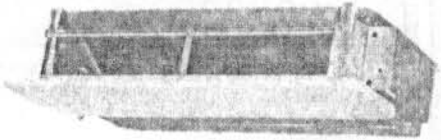
Modèle carrossé vertical



Modèle non carrossé vertical



Modèle carrossé horizontal

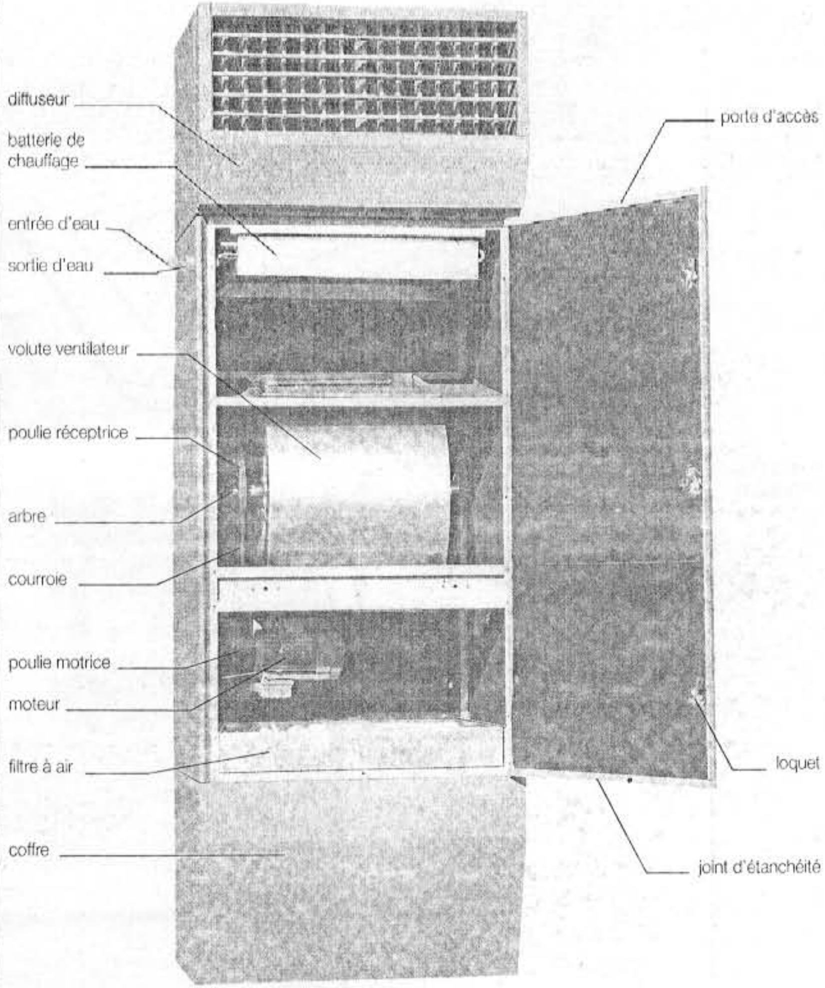


Modèle non carrossé horizontal

DOC. CIAT

AÉROTHERMES

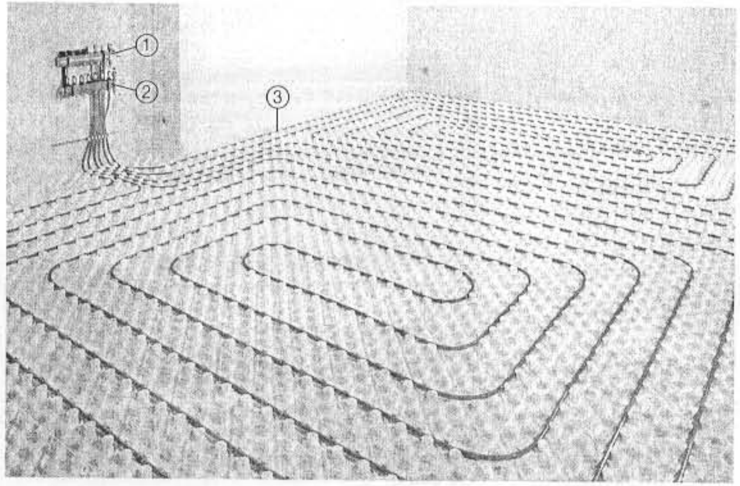
Le principe de fonctionnement est identique à celui des ventilo-convecteurs et ils sont utilisés pour les grosses puissances (ateliers, gymnases). Ils sont volumineux, peu esthétiques et plus ou moins bruyants.

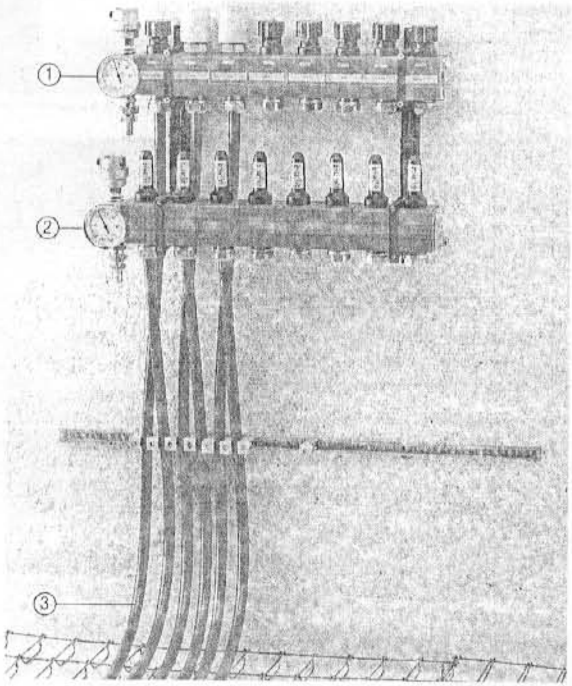


DOC. CIAT

PLANCHERS RAYONNANTS

Mode de chauffage par rayonnement où l'émetteur est une dalle flottante dans laquelle est réalisé un circuit constitué par un tube en polyéthylène réticulé (PER). Les différents circuits sont reliés à deux collecteurs (aller et retour), eux-mêmes reliés au système de production. Le plancher chauffant se caractérise par une surface d'émission (dalle) importante et donc un niveau de température faible.



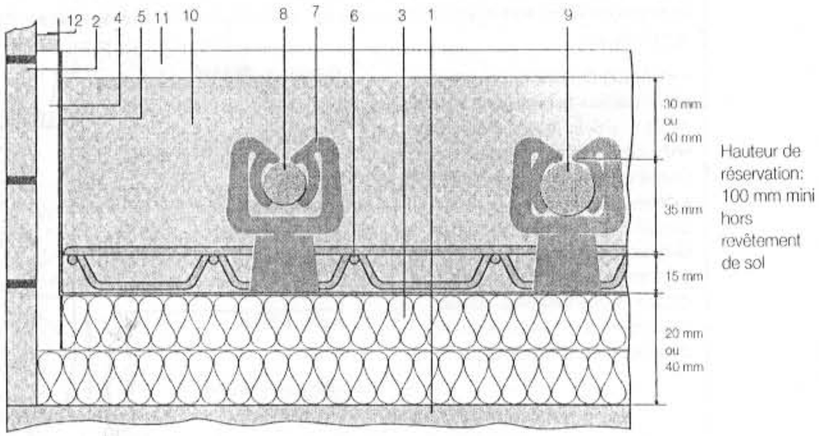


1 collecteur aller
2 collecteur retour
3 tube

DOC. RÉHAU

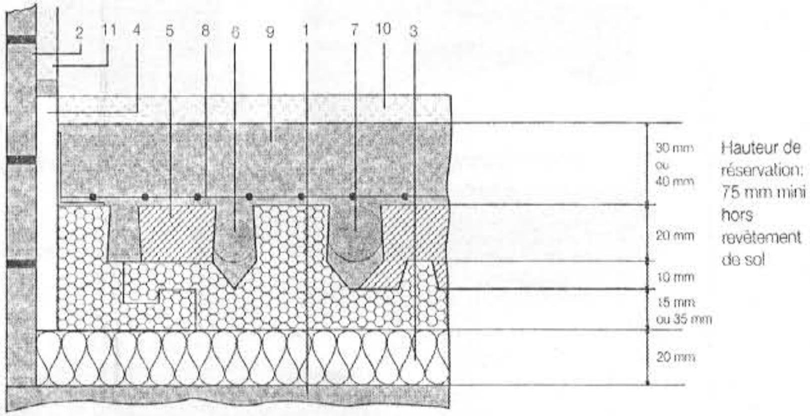
PLANCHERS RAYONNANTS (suite)

Vue en coupe du plancher chauffant treillis double



1 - Dalle support
2 - Mur ou cloison
3 - Isolation thermique
4 - Relevé de plinthe
5 - Film pare-vapeur
6 - Treillis métallique double
7 - Clips de fixation
8 - Tube RAU-PER avec BAO DN 16 × 1,5 mm
9 - Tube RAU-PER avec BAO DN 20 × 1,9 mm
10 - Chape
11 - Revêtement de sol (épaisseur variable)
12 - Plinthe

Vue en coupe du plancher chauffant plaque à plots



1 - Dalle support
2 - Mur ou cloison
3 - Isolation thermique supplémentaire (si nécessaire)
4 - Relevé de plinthe avec bavette
5 - Plaque isolante à plots renforcés
6 - Tube RAU-PER avec BAO DN 16 ¥ 1,5 mm
7 - Tube RAU-PER avec BAO DN 20 ¥ 1,9 mm
8 - Treillis métallique anti-retrait
9 - Chape
10 - Revêtement de sol (épaisseur variable)
11 - Plinthe

DOC. RÉHAU

■ DIAMÈTRES NORMALISÉS DES TUBES EN ACIER NOIR, CUIVRE ET POLYÉTHYLÈNE RÉTICULÉ (PER)

ACIER NOIR

ancien. dénom. Pouces	ancien. dénom. mm	NF A 49-115 / NF A 49-140 (Tube soudé, filetable) D ext. × épai. mm	D int. mm	Sur. ext. m²/ml	P. kg/ml	Cont. l/ml
1/4	8/13	13,5 × 2,0	9,5	0,042	0,57	0,07
3/8	12/17	17,2 × 2,0	13,2	0,054	0,75	0,14
1/2	15/21	21,3 × 2,3	16,7	0,067	1,10	0,22
3/4	20/27	26,9 × 2,3	22,3	0,084	1,41	0,39
1	26/34	33,7 × 2,9	27,9	0,106	2,21	0,61
1 1/4	33/42	42,4 × 2,9	36,6	0,133	2,84	1,05
1 1/2	40/49	48,3 × 2,9	42,5	0,152	3,26	1,42
2	50/60	60,3 × 3,2	53,9	0,189	4,56	2,28
2 1/2	66/76	76,1 × 3,2	69,7	0,239	5,80	3,81
3	80/90	88,9 × 3,2	82,5	0,279	6,81	5,34
3 1/2	90/102	101,6 × 3,6	94,4	0,319	8,74	7,00
4	107/114	114,3 × 3,6	107,1	0,359	9,89	9,00

ancien. dénom. Pouces	ancien. dénom. mm	NF A 49-115 (Tube sans soudure, filetable) D ext. × épai. mm	D int. mm	Sur. ext. m²/ml	P. kg/ml	Cont. l/ml
1/4	8/13					
3/8	12/17	17,2 × 2,3	12,6	0,054	0,85	0,12
1/2	15/21	21,3 × 2,6	16,1	0,067	1,22	0,20
3/4	20/27	26,9 × 2,6	21,7	0,084	1,58	0,37
1	26/34	33,7 × 3,2	27,3	0,106	2,44	0,59
1 1/4	33/42	42,4 × 3,2	36,0	0,133	3,14	1,02
1 1/2	40/49	48,3 × 3,2	41,9	0,152	3,61	1,38
2	50/60	60,3 × 3,6	53,1	0,189	5,10	2,21
2 1/2	66/76	76,1 × 3,6	68,9	0,239	6,51	3,73
3	80/90	88,9 × 3,6	81,7	0,279	8,47	5,24
3 1/2	90/102	101,6 × 4	93,6	0,319	9,72	6,88
4	107/114	114,3 × 4,0	106,3	0,359	12,10	8,87

ancien. dénom. Pouces	ancien. dénom. mm	NF A 49-111 (Tube sans soudure, non filetable) D ext. × épai. mm	D int. mm	Sur. ext. m²/ml	P. kg/ml	Cont. l/ml
1/4	8/13					
3/8	12/17					
1/2	15/21					
3/4	20/27					
1	26/34	33,7 × 2,3	29,1	0,106	1,78	0,66
1 1/4	33/42	42,4 × 2,6	37,2	0,133	2,55	1,09
1 1/2	40/49	48,3 × 2,6	43,1	0,152	2,93	1,46
2	50/60	60,3 × 2,9	54,5	0,189	4,11	2,33
2 1/2	66/76	76,1 × 2,9	70,3	0,239	5,24	3,88
3	80/90	88,9 × 3,2	82,5	0,279	6,76	5,34
3 1/2	90/102	101,6 × 3,6	94,4	0,319	8,70	7,00
4	107/114	114,3 × 3,6	107,1	0,359	9,83	9,00
	125/133	133,0 × 4,0	125,0	0,418	12,70	12,27
	131/140	139,7 × 4,0	131,7	0,439	13,39	13,62
	150/159	159,0 × 4,5	150,0	0,499	17,10	17,66
	159/168	168,3 × 4,5	159,3	0,528	18,20	19,92
	183/194	193,7 × 5,4	182,9	0,608	25,10	26,26
	207/219	219,1 × 5,9	207,3	0,688	31,02	33,73
	232/245	244,5 × 6,3	231,9	0,768	37,00	42,22
	260/273	273,0 × 6,3	260,4	0,857	41,44	53,23
	310/324	323,9 × 7,1	309,7	1,017	55,47	75,29
	340/356	355,6 × 8,0	339,6	1,117	68,60	90,53
	389/406	406,4 × 8,8	388,8	1,276	86,3	118,66

CUIVRE

ancien. dénom. mm	(ECROUI) D ext. × épai. mm	D int. mm	Sur. ext. m²/ml	P. kg/ml	Cont. l/ml	(RECUIT) D ext. × épai. mm	D int. mm	Sur. ext. m²/ml	P. kg/ml	Cont. l/ml	P.E.R. D int. × D ext. mm	Sur. ext. m²/ml	P. kg/ml	Cont. l/ml
8/10	10 × 1	8,0	0,031	0,25	0,08	10 × 1	8,0	0,031	0,25	0,08	8 × 10		0,03	0,05
10/12	12 × 1	10,0	0,038	0,31	0,11	12 × 1	10,0	0,038	0,31	0,11	10 × 12		0,04	0,08
12/14	14 × 1	12,0	0,044	0,36	0,15	14 × 1	12,0	0,044	0,36	0,15	13 × 16		0,07	0,13
14/16	16 × 1	14,0	0,050	0,42	0,20	16 × 1	14,0	0,050	0,42	0,20	16 × 20		0,11	0,20
16/18	18 × 1	16,0	0,057	0,48	0,25	18 × 1	16,0	0,057	0,48	0,25	20 × 25		0,18	0,31
18/20	20 × 1	18,0	0,063	0,53	0,31	20 × 1	18,0	0,063	0,53	0,31				
20/22	22 × 1	20,0	0,069	0,59	0,38	22 × 1	20,0	0,069	0,59	0,38				
23/25	25 × 1	23,0	0,079	0,88	0,49									
26/28	28 × 1	26,0	0,088	1,11	0,62									
30/32	32 × 1	30,0	0,100	1,33	0,80									
34/36	36 × 1	34,0	0,113	1,45	1,02									
38/40	40 × 1	38,0	0,126	1,62	1,26									
40/42	42 × 1	40,0	0,132	1,70	1,38									
50/52	52 × 1	50,0	0,163	2,76	2,12									

15 PLOMBERIE ET SANITAIRE (DTU 60.11)

15.1 DISTRIBUTION D'EAU CHAUDE ET D'EAU FROIDE

DÉBITS DE BASE

La conception doit respecter le règlement sanitaire départemental type (art. 14 du titre 1er « Les eaux destinées à la consommation humaine »).

Le branchement et le réseau de canalisation intérieurs ont une section suffisante pour que le point le plus élevé ou le plus éloigné de l'immeuble ait une pression d'au moins 0,03 MPa à l'heure de pointe de consommation.

DIAMÈTRE DES TUYAUTERIES

Le diamètre D en mm des tuyauteries d'alimentation est choisi en fonction des débits mini (Q_{min} en l/s).

Le tableau ci-contre donne les diamètres intérieurs mini en mm des canalisations des appareils pris individuellement.

Appareils	Q_{min} de calcul – Eau froide ou eau mélangée (l/s)	Q_{min} de calcul – Eau chaude (l/s)	Diamètres intérieurs mini (mm)
Évier	0,20	0,20	12
Lavabo	0,20	0,20	10
Bidet	0,20	0,20	10
Baignoire	0,33	0,33	13
Douche	0,20	0,20	12
WC avec réservoir de chasse	0,12		10
WC avec robinet de chasse	1,50		(1)
Urinoir avec robinet individuel	0,15		10
Urinoir à action siphonique	0,50		(1)
Lave-mains	0,10		10
Bac à laver	0,33		13
Machine à laver le linge	0,20		10
Machine à laver la vaisselle	0,10		10
Machine industrielle ou autre appareil			(2)

(1) diamètre du robinet.
(2) voir fabricant.

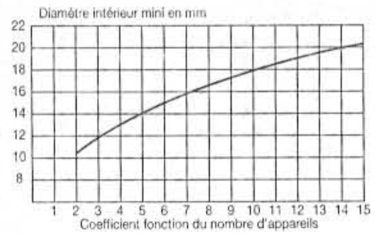
DIAMÈTRE INTÉRIEUR MINIMAL D'ALIMENTATION EN FONCTION DU NOMBRE D'APPAREILS

■ **INSTALLATIONS INDIVIDUELLES**

Chaque appareil est affecté d'un coefficient.

Appareils	Coefficient
WC (avec réservoir de chasse), lave-mains, urinoir, siphon de sol	0,5
Bidet, WC à usage collectif, machines à laver (linge ou vaisselle)	1
Lavabo	1,5
Douche, poste d'eau	2
Évier, timbre d'office	2,5
Baignoire : capacité < 150 l	3
Baignoire : capacité > 150 l	3 + 0,1 par tranche de 10 l sup.

La somme des coefficients permet à l'aide du graphique de déterminer le diamètre minimal du groupe d'appareils.



■ **INSTALLATIONS COLLECTIVES**

Lorsque la somme des coefficients est supérieure à 15, le diamètre intérieur est calculé selon la formule de Flamant :

Eau froide : $DJ = 0,00092 \sqrt[4]{\frac{V^7}{D}}$

Eau chaude : $DJ = 0,00046 \sqrt[4]{\frac{V^7}{D}}$

D : diamètre intérieur (m)
J : perte de charge (mCE/m)
V : vitesse (m/s)

La vitesse à prendre en compte pour le calcul des diamètres selon la formule est de 2 m/s pour les canalisations en sous-sol ou vide sanitaire et de 1,5 m/s pour les colonnes montantes. Les 2 abaques de la page suivante résultent de l'application de ces formules.

ABAQUE POUR LE CALCUL DES CONDUITES D'EAU FROIDE

Emploi des abaques

Connaissant 2 éléments (généralement le débit et la vitesse, ou le débit et la perte de charge), joindre à l'aide d'une règle les points représentant ces valeurs sur les échelles verticales. Les 2 autres éléments (diamètre et perte de charge, ou diamètre et vitesse) se lisent sur les échelles correspondantes à l'intersection formée par la règle.

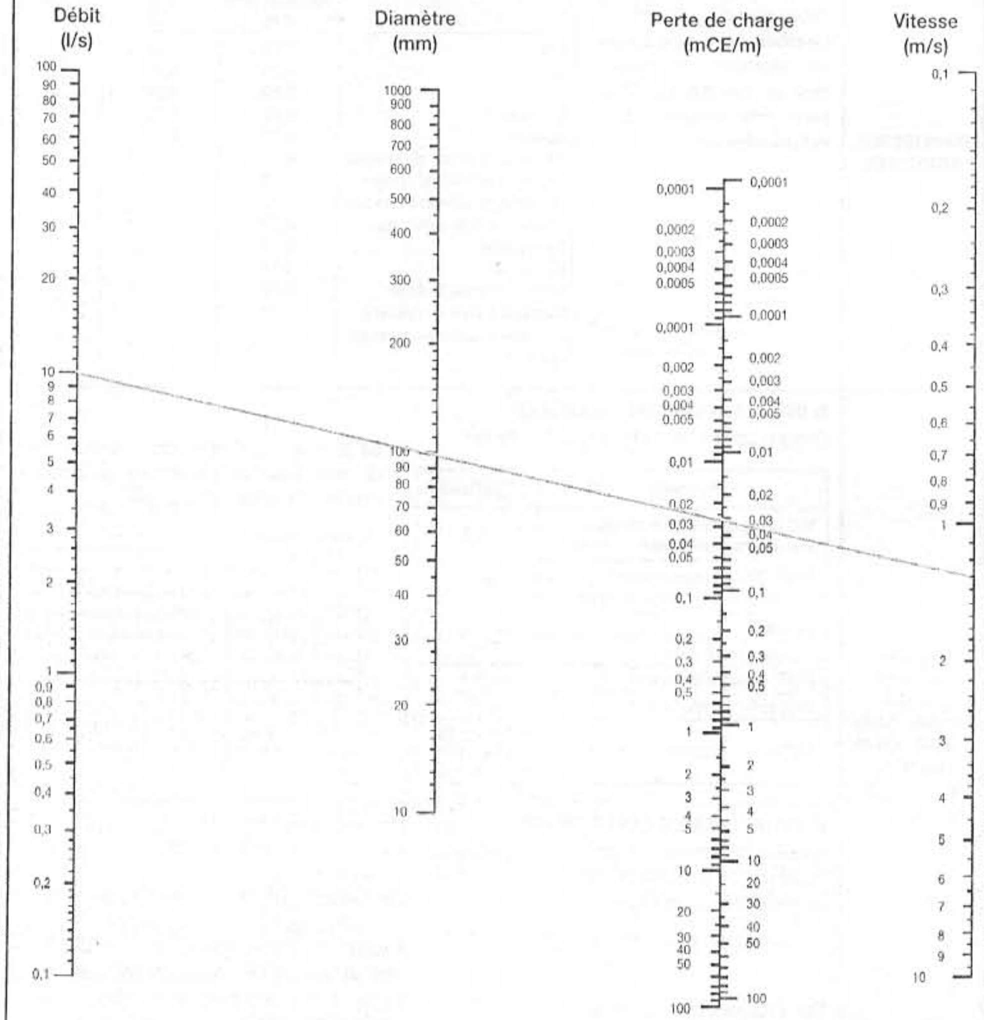
Nota : la colonne de droite de l'échelle des pertes de charge inclut les pertes de charge singulières (+ 15 %).

Exemple

Débit :	10 l/s
Vitesse :	1,30 m/s

⇓

Perte de charge :	0,025 mCE/m
Diamètre :	100 mm



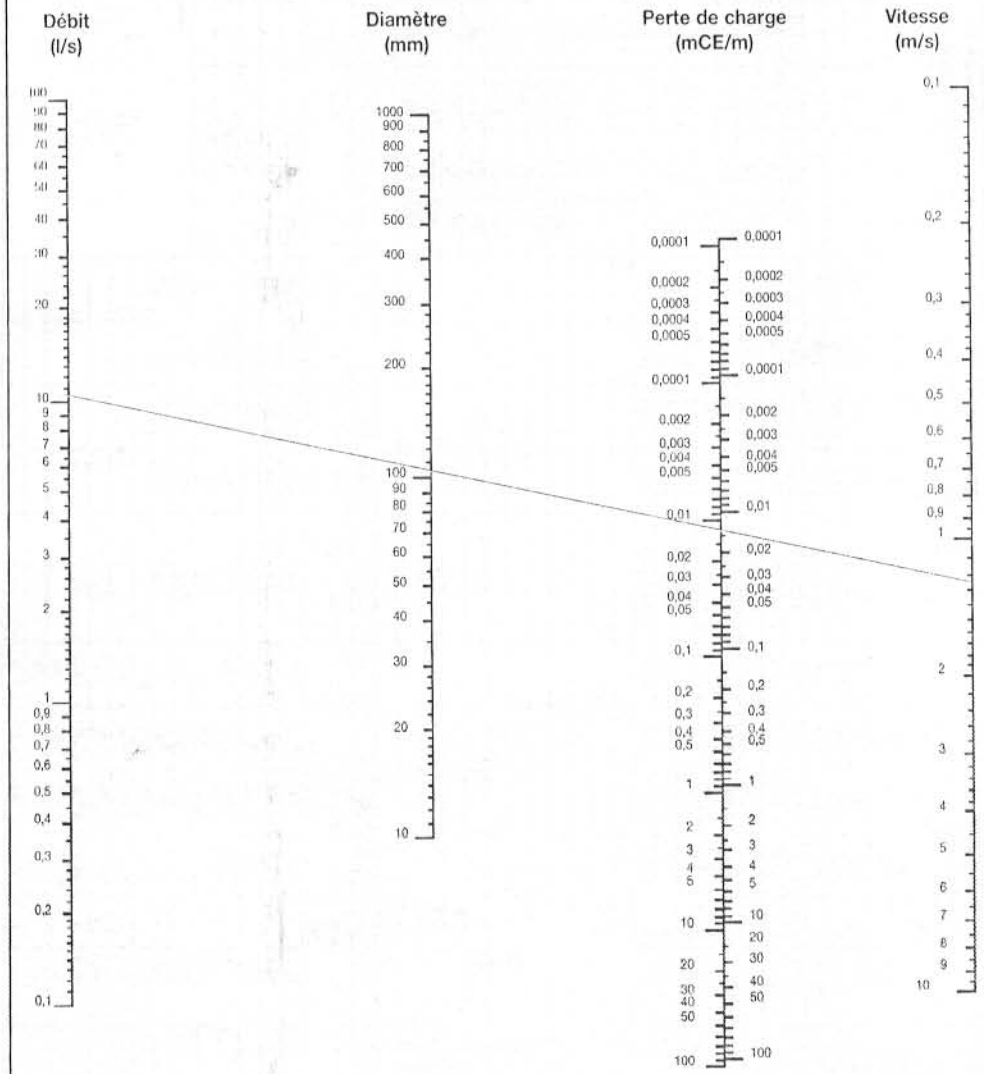
ABAQUE POUR LE CALCUL DES CONDUITES D'EAU CHAUDE

Exemple

Débit :	10 l/s
Vitesse :	1,30 m/s

⇒

Perte de charge :	0,012 mCE/m
Diamètre :	100 mm



HYPOTHÈSE DE SIMULTANÉITÉ POUR LE CALCUL DES DÉBITS D'ALIMENTATION DES PARTIES COLLECTIVES

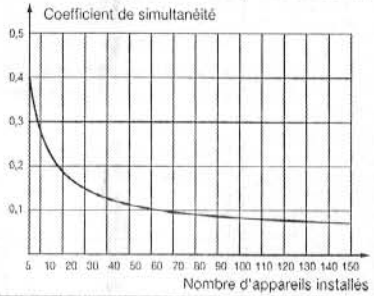
■ **APPAREILS AUTRES QUE ROBINETS DE CHASSE**

Le débit servant de base au calcul du diamètre d'une canalisation est obtenu en multipliant la somme des débits des appareils (voir Q min : diamètre des tuyauteries) par un coefficient donné par le graphique en fonction du nombre d'appareils.

Lorsqu'il est prévu une alimentation pour une ou plusieurs machines à laver, il n'est pris en compte qu'une seule de ces machines dans le calcul de la somme des débits.

Les **robinets de chasse** ne fonctionnant que pendant quelques secondes sont comptabilisés selon le tableau ci-contre. Le débit ainsi obtenu pour les robinets de chasse est à ajouter à la somme des débits obtenus pour les autres appareils après application du coefficient de simultanéité ci-contre.

Coefficient de simultanéité en fonction du nombre d'appareils installés (parties collectives)



nombre de robinets de chasse installés	nombre à prendre en compte
< 3	1
4 < n < 12	2
13 < n < 24	3
25 < n < 50	4
n > 50	5

15.2 PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE

TYPES DE CHAUFFE-EAU

Types de chauffe-eau	Échangeur de chaleur	Observations
Électrique	Thermoplongeur	– Réchauffages de petites quantités d'eau. – Il existe de nombreux modèles. – Doivent être équipés d'une sécurité de manque d'eau (NF C 73-220).
	A accumulation	– Réservoirs isolés thermiquement et équipés de résistances électriques. – Chauffe-eau hors pression ou à écoulement libre (le puisage se fait en partie supérieure). – Chauffe-eau sous pression : appareils permettant d'alimenter plusieurs postes de puisage (ex. cuisine et salle de bains).
	Instantané	– L'eau froide est chauffée au fur et à mesure de son écoulement. – Appareils bon marché mais nécessitent une puissance raccordée importante.
A gaz	A accumulation	– Équipés d'un brûleur à gaz atmosphérique. – Permettent de ne puiser qu'une quantité d'eau chaude limitée. – La mise en marche se fait au moyen d'un dispositif d'allumage piézo-électrique.
	Instantané	– Permettent de fournir des quantités d'eau chaude illimitées. – Le chauffage se fait dans un réseau tubulaire par la chaleur des gaz.
A fioul	A accumulation	– Accumulateur séparé de la chaudière. – Accumulateur incorporé à la chaudière.
	Instantané	– Échangeur dans le préparateur d'eau chaude. – Échangeur à l'extérieur du préparateur d'eau chaude. – Échangeur dans la chaudière (chaudière à accumulation).

15.3 ÉVACUATION DES EAUX USÉES

BRANCHEMENTS DE VIDANGE

Le diamètre intérieur doit être au moins égal à celui des siphons qu'il reçoit (NF D 18-206). Cette disposition ne concerne pas les baignoires raccordées individuellement par un collecteur de longueur inférieure à 1 m.

COLLECTEURS D'APPAREILS

■ **ÉVACUATION INDIVIDUELLE D'APPAREILS**

La pente recommandée est de 1 cm/m

Appareil	Ø intérieur minimal (mm)	Observations
Lavabo, lave-mains, bidet	30	-
Évier, poste d'eau, douche, urinoir	33	-
Baignoire	33 38	Si L ≤ 1 m Si L > 1 m
Groupe de sécurité	20	Si L ≥ 1 m
	25	Sans partie verticale ou L < 1 m
Machine à laver le linge ou la vaisselle	33	-
WC à action siphonique	60 77	sur longueur de 1 m sur partie L supérieure à 1 m
WC à chasse directe	80	-

■ **ÉVACUATION D'APPAREILS GROUPÉS**

Jusqu'au collecteur, se reporter au tableau «Évacuation individuelle» et ensuite au tableau «Appareils groupés».

Les diamètres indiqués dans ce tableau correspondent à une pente comprise entre 1 et 3 cm/m.

Appareils groupés dans le sens de l'écoulement	Ø intérieur minimal (mm)	Observations
Lavabo + bidet	30	-
Bidet + lavabo		
Lavabo ou bidet ou machine à laver + baignoire	-	2 vidanges séparées sont nécessaires (voir tableau ci-contre)
Baignoire + lavabo ou bidet ou machine à laver	Choisir le diamètre immédiatement supérieur au diamètre de l'appareil le plus important	
Lavabo + bidet + baignoires (ordre indifférent)	2 collecteurs sont nécessaires (voir cas précédents). Le diamètre minimal dépend du regroupement ses appareils	
Machine à laver (linge ou vaisselle + évier)	33	-

Une douche peut être assimilée à une baignoire. Hormis ces possibilités de regroupements, tous les autres appareils doivent être évacués indépendamment les uns des autres.

CHUTES D'EAUX USÉES

Les diamètres intérieurs des tuyaux de chute (voir tableau ci-dessous) sont constants sur toute la hauteur des colonnes. Ils sont prolongés en ventilation primaire dans leur diamètre, jusqu'à l'air libre et au-dessus des locaux habités.

Les ventilations primaires de plusieurs chutes peuvent être regroupées en une seule immédiatement au-dessus du dernier branchement.

Le diamètre de cette sortie étant le diamètre immédiatement supérieur au diamètre de la plus grande des ventilations avant regroupement, la ventilation secondaire n'est pas exigée.

Les parcours d'allure horizontale des ventilations devront comporter une pente pour assurer l'évacuation vers une chute des eaux de condensation.

Diamètres intérieurs minimaux des tuyaux de chute en fonction du nombre d'appareils

Appareils	Nombre total d'appareils	Diamètre intérieur mini (mm)
WC	1 ou plusieurs	90
Baignoire, évier, lavabo, douche, urinoir, bidet, lave-mains, machines à laver	1 à 3 appareils autres que baignoire ou 1 baignoire au plus	50
	4 à 10 appareils incluant 2 baignoires au plus	65
	11 appareils et au-delà	90

TUYAUX COLLECTEURS D'APPAREILS

■ **CALCUL DU DIAMÈTRE D'UN COLLECTEUR PRINCIPAL**

- faire la somme des débits individuels des appareils desservis (voir tableau ci-contre),
- multiplier le chiffre obtenu par un coefficient de simultanéité (voir fin du paragraphe 15.1) pour obtenir le débit probable,
- calculer le diamètre du collecteur :

• soit en utilisant la formule de Bazin :

$$Q = \frac{87\, RH\sqrt{i}}{\gamma + \sqrt{RH}}\, SM$$

Q débit (m^3/s)
RH rayon hydraulique (m)
SM surface mouillée (m^2)
i pente (m/m)
γ coefficient de frottement ($m^{1/2}$)

Appareils	Débits de base en litres par mm	Débits de base en litres par seconde
Baignoire	72	1,2
Douche	30	0,5
Lavabo	45	0,75
Bidet – lave-mains	30	0,5
Appareil avec bonde à grille	30	0,5
Évier	45	0,75
Bac à laver	45	0,75
Urinoir	30	0,5
Urinoir à action siphonique	60	1,0
WC à chasse directe	90	1,5
WC à action siphonique	90	1,5
Machine à laver le linge	40	0,65
Machine à laver la vaselle	25	0,40

• soit à l'aide du tableau ci-contre (la hauteur d'eau maximale dans les tuyaux doit être égale à 0,5 D pour l'évacuation des eaux usées). Pour tenir compte de l'évacuation des eaux pluviales en cas d'orage, on admet une section d'écoulement d'une hauteur de 0,7 D.

Diamètre intérieur en mm	Débit en l/s pour une pente par m de : 1 cm a	1 cm b	2 cm a	2 cm b	3 cm a	3 cm b	4 cm a	4 cm b	5 cm a	5 cm b
69	0,96	1,64	1,36	2,32	1,67	2,84	1,93	3,28	2,15	3,67
77	1,31	2,22	1,85	3,14	2,26	3,85	2,61	4,44	2,92	4,97
84	1,66	2,82	2,35	3,99	2,88	4,89	3,32	5,65	3,71	6,31
94	2,26	3,85	3,20	5,44	3,92	6,66	4,53	7,69	5,08	8,60
104	2,99	5,07	4,23	7,18	5,18	8,79	5,98	10,15	6,69	11,35
119	4,33	7,33	6,12	10,37	7,50	12,70	8,66	14,67	9,68	16,40
129	5,40	9,14	7,64	12,92	9,35	15,83	10,80	18,28	12,07	20,44
134	5,99	10,14	8,47	14,34	10,38	17,56	11,98	20,27	13,40	22,67
153	8,60	14,54	12,17	20,56	14,90	25,18	17,21	29,07	19,24	32,50
154	8,76	14,80	12,38	20,92	15,17	25,63	17,51	29,59	19,58	33,08
191	15,72	26,50	22,24	37,48	27,23	45,91	31,45	53,01	35,16	59,27
203	18,55	31,24	26,23	44,18	32,12	54,11	37,09	62,49	41,47	69,86
238	28,51	47,95	40,31	67,81	49,38	83,05	57,01	95,90	63,74	107,21
266	38,47	64,63	54,40	91,40	66,63	111,95	76,94	129,27	86,02	144,52
300	53,15	89,20	75,17	126,15	92,06	154,50	106,31	178,40	118,85	199,45
317	61,62	103,86	87,15	146,17	106,74	179,02	123,25	206,72	137,80	231,12

▭ *vitesse d'écoulement comprise entre 1 m/s et 2 m/s*

a. système séparatif

b. système unitaire (Eaux Usées, Eaux Vannes, Eaux Pluviales)

15.4 ÉVACUATION DES EAUX PLUVIALES

GOUTTIÈRES ET CHÉNEAUX

Les sections en cm^2 (demi-circulaires) des conduits d'évacuation sont données dans le tableau ci-dessous en fonction de la surface en plan de la couverture. Les sections ont été calculées d'après la formule de Bazin (voir § 15.3 : tuyaux collecteurs d'appareils).

Pour les chéneaux et gouttières de sections rectangulaires et trapézoïdales, les sections indiquées sur le tableau doivent être augmentées respectivement de 10 % et de 20 %.

Surface en plan des toitures desservies en m^2	Pente du conduit en mm/m : < 1	2	3	5	7	10	15	20
20	65	50	45	35	35	30	25	20
30	85	70	60	50	45	40	35	30
40	105	80	70	60	55	50	40	35
50	120	95	85	70	65	55	50	45
60	140	110	95	80	70	60	55	50
70	155	120	105	90	80	70	60	55
80	170	135	115	95	85	75	65	60
90	185	145	125	100	95	85	70	65
100	200	155	135	115	100	90	80	70
110	215	170	145	120	110	95	85	75
120	230	180	155	130	115	100	90	80
130	240	190	165	135	120	105	95	85
140	255	200	170	145	130	115	100	90
150	265	210	180	150	135	120	105	95
160	280	220	190	160	140	125	110	100
170	290	230	200	165	145	130	115	100
180	305	240	205	170	150	135	120	105
200	330	255	220	185	165	145	125	115
250	385	300	260	215	190	170	145	135
300	440	340	295	245	220	195	165	150
350	490	380	330	275	245	215	185	170
400	540	420	365	305	270	235	205	185
450	585	460	395	330	290	255	225	200
500	635	490	425	355	315	275	240	215
600	720	560	485	405	360	315	275	245
700	805	630	540	450	400	350	305	275
800	890	690	595	495	440	385	335	305
900	965	750	650	540	480	420	365	330
1 000	1 045	810	700	585	515	455	395	355

TUYAUX DE DESCENTE

• **Couvertures ne comportant pas de revêtements d'étanchéité**

Les diamètres des tuyaux de descente sont déterminés d'après les indications des tableaux page suivante en fonction de la surface en plan de la toiture.

• **Couvertures comportant un revêtement d'étanchéité**

Surfaces collectées inférieures ou égales à 287 m^2 par descente avec entrée d'eau à moignon cylindrique pour les toitures non accessibles établies sur éléments porteurs en maçonnerie (voir tableau page suivante).

TUYAUX DE DESCENTE (suite)

• **Couvertures ne comportant pas de revêtement d'étanchéité**

Diamètre intérieur des tuyaux (cm)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Surface en plan des toitures (m²)	40	55	71	91	113	136	161	190	220	253	287

• **Couvertures comportant un revêtement d'étanchéité (surface < 287 m²)**

Diamètre intérieur des tuyaux (cm)			8	9	10	11	12	13	14	15	16
Surface en plan des toitures (m²)	40	55	71	91	113	136	161	190	220	253	287

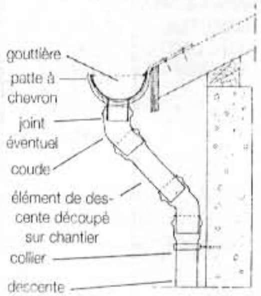
• **Couvertures ne comportant pas de revêtement d'étanchéité**

Diamètre intérieur des tuyaux (cm)	Surface en plan des toitures desservies (m²)	
	Si le tuyau est raccordé au chéneau ou à la gouttière par un moignon cylindrique (1)	Si le tuyau est raccordé par un large cône ou une cuvette (2)
17	287	324
18	287	363
19	287	406
20	314	449
21	346	494
22	380	543
23	415	593
24	452	646
25	490	700
26	530	758
27	570	815
28	615	880
29	660	945
30	700	1000
31	755	
32	805	
33	855	
34	908	
35	960	
36	1000	

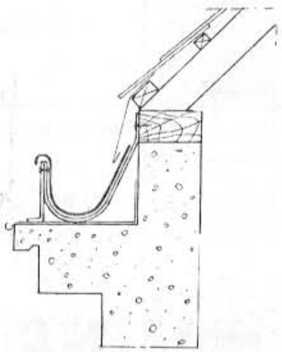
(1) 1 cm² de section de tuyau de descente évacue 1 m² de surface de couverture en plan.

(2) 0,70 cm² de section de tuyau de descente évacue 1 m² de surface de couverture en plan.

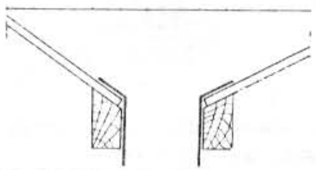
Gouttière et descente



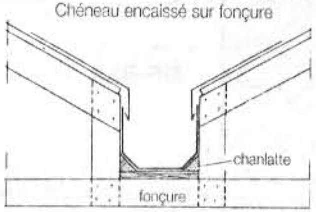
Chéneau à l'anglaise sur entablement maçonnerie



Chéneau en tôle noire autoporteur

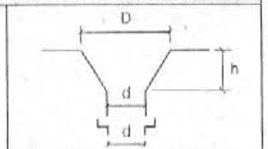


Chéneau encaissé sur fonçure



TUYAUX DE DESCENTE (suite)

• **Autres cas des couvertures comportant un revêtement d'étanchéité**

Entrée d'eau avec moignon cylindrique (1)			Entrée d'eau avec moignon tronconique (2)				
Surface en plan collectée (m²) par une entrée d'eau		Diamètre minimal (cm) du tuyau d'évacuation ou du moignon (4)	Surface en plan collectée (m²) par une entrée d'eau dont le moignon est tronconique				
à Ø normal	à Ø majoré (3)		à Ø normal	à Ø majoré (3)	D (cm)	d (cm) (4)	h (cm)
28		6 (5)	40	37	D = environ 2 x d	6 (5)	h = environ 1,5 x d
38		7 (5)	55	37		7 (5)	
50	53	8	71	47		8	
64	43	9	91	61		9	
79	53	10	113	75		10	
95	63	11	136	91		11	
113	75	12	161	107		12	
133	88	13	190	127		13	
154	103	14	220	147		14	
177	118	15	253	168		15	
201	134	16	287	191		16	
227	151	17	324	216		17	
254	169	18	363	242		18	
284	189	19	406	270		19	
314	209	20	449	300		20	
346	230	21	494	329		21	
380	253	22	543	362		22	
415	277	23	593	394		23	
452	302	24	646	430		24	
490	327	25	700	466		25	
530	400	26	758	570		26	
570	472	27	815	680		27	
615	550	28	880	785		28	
660	625	29	945	890		29	
700	700	30	1000	1000		30	
755	755	31					
805	805	32					
855	855	33					
908	908	34					
960	960	35					
1000	1000	36					

(1) 1 cm² de section de tuyau de descente évacue 1 m² de surface de couverture en plan.

(2) 0,70 cm² de section de tuyau de descente évacue 1 m² de surface de toiture en plan.

(3) Les diamètres majorés concernent certains cas d'évacuation des eaux pluviales raccordés à des toitures comportant un revêtement d'étanchéité sur éléments porteurs en tôle d'acier nervurée ou en bois.

(4) Le diamètre du moignon peut être légèrement inférieur pour tenir compte de l'épaisseur du matériau.

(5) Les diamètres 6 et 7 cm ne sont admis que pour les petites surfaces telles que balcons et loggias.

16 ÉLECTRICITÉ DANS LES BÂTIMENTS D'HABITATION

NORMALISATION

Dans les bâtiments d'habitation, les installations électriques sont soumises aux normes NF C 14-100 et NF C 15-100.

La norme NF C 15-100 est entrée en vigueur le 5 avril 1991 et s'applique à tous les bâtiments dont la demande de permis de construire est postérieure à cette date.

Les points principaux à caractère obligatoire sont les suivants :

- protection des circuits prises de courant et des circuits salle de bains par différentiel de 30 mA ;
- conducteur de terre pour tous les circuits sans exception y compris les circuits lumière ;
- prises de courant 10/16 A avec terre et obturateur à éclipses ;
- protection contre la foudre dans les régions exposées ;
- recommandation de protection contre les surtensions pour les appareils sensibles.

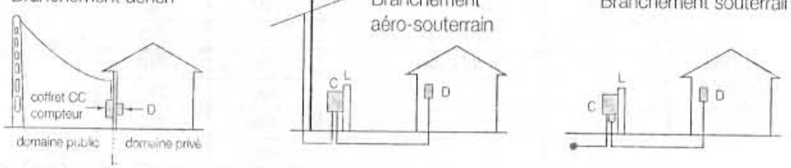
CONTRÔLE

Les installations électriques doivent être contrôlées par le CONSUEL qui délivre une attestation de conformité nécessaire pour la mise en tension de l'installation par EDF.

ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

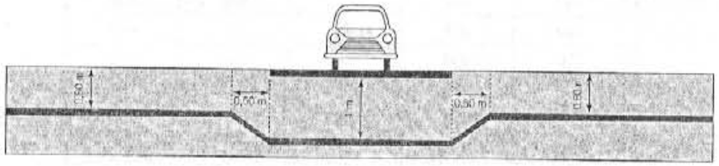
La fourniture de l'énergie électrique basse tension (230 ou 400 volts) est à la charge de EDF. Cette prestation s'arrête en limite de propriété (limite entre le domaine public et le domaine privé). Toutes les installations dans le domaine privé sont à la charge du maître de l'ouvrage, et réalisées par un installateur agréé.

- **Dans le cas d'une maison individuelle, trois types de branchements sont admis.**

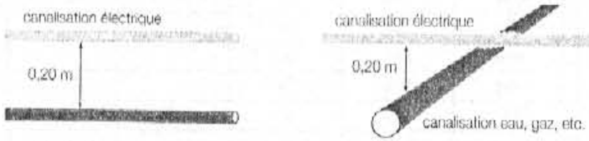


C : compteur ; D : disjoncteur ; L : limite de propriété

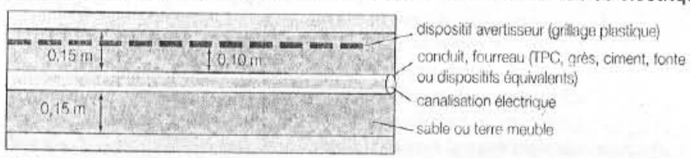
- **Profondeurs minimales à respecter pour la pose de câbles en souterrain**



- **Côtoiement ou croisement avec une autre canalisation**

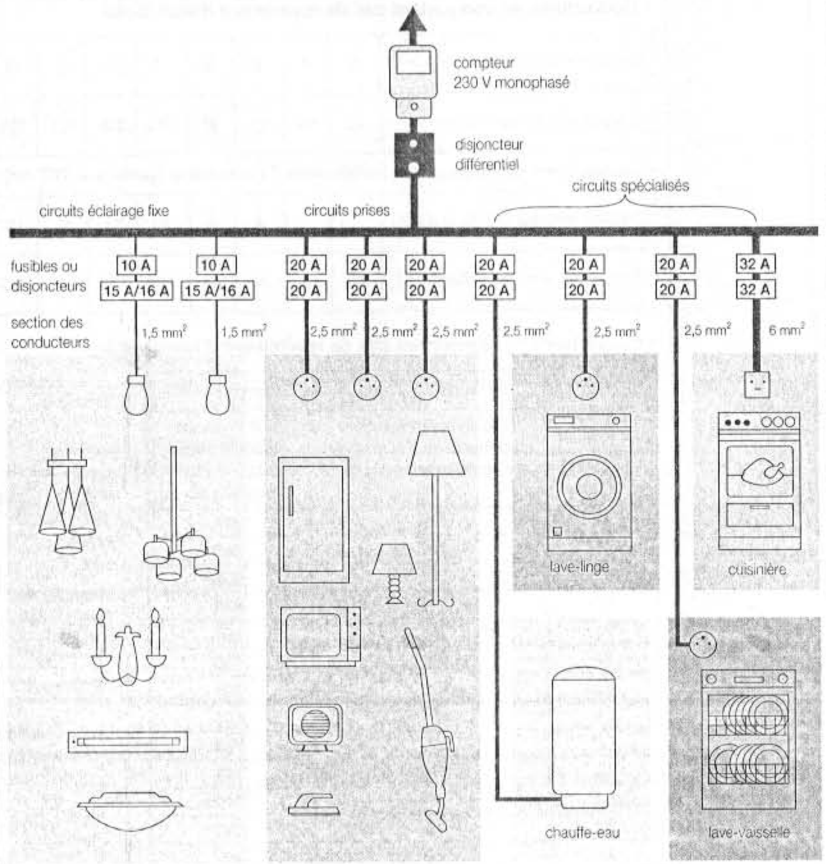


- **Conditions particulières imposables aux tranchées contenant des câbles électriques**



DOC. PROMOTELEC

INSTALLATION ÉLECTRIQUE TYPE D'UN LOGEMENT



DOC PROMOTELEC

MARQUAGE DES PRODUITS

Les matériels conformes aux normes de sécurité portent l'un des sigles ci-dessous.

NF – cartouches fusibles, porte-cartouches, disjoncteurs divisionnaires, prises de courant, interrupteurs, douilles, transformateurs de sécurité, baladeuses.

NF ÉLECTRICITÉ / NF OUTILLAGE ÉLECTRICITÉ / NF LUMINAIRES ÉLECTRICITÉ – appareils électroménagers, appareils d'éclairage

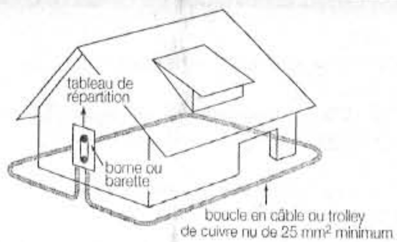
NF-USE – fils, câbles, conduits.

En outre les appareils dits de « classe II » se reconnaissent par ce symbole ⧈ qui signifie qu'ils sont à double isolation et donc n'ont pas à être mis à la terre.

CIRCUIT DE TERRE

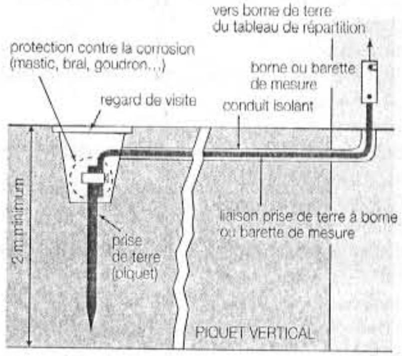
■ CONSTRUCTION NEUVE

La prise de terre est généralement constituée par un conducteur posé en boucle à fond de fouille.



■ RÉHABILITATION

La prise de terre est constituée de un ou plusieurs piquets reliés entre eux.
La résistance de prise de terre doit être inférieure ou égale à 100 Ω si la protection différentielle est assurée par un dispositif qui porte l'indication 500 mA sur la plaque.



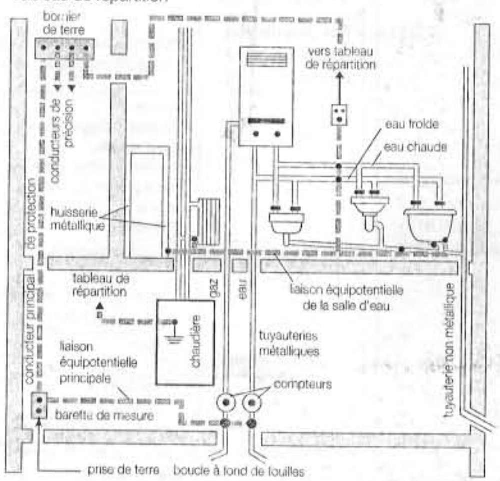
■ ÉLÉMENTS À RELIER À LA TERRE

- Les masses des appareils de classe I (appareils électroménagers, chauffe-eau, etc.).
- Les éléments conducteurs (charpente métallique, huisserie métallique contenant de l'appareillage électrique, sols et parois non isolants, etc.).
- Les contacts de terre des socles des prises de courant.
- Les liaisons équipotentielles principales des bâtiments.
- Les liaisons équipotentielles supplémentaires (salles d'eau, piscines, etc.).

■ LIAISON ÉQUIPOTENTIELLE PRINCIPALE

Elle consiste à relier à la prise de terre les canalisations métalliques de toute nature pénétrant dans le bâtiment et les éléments métalliques accessibles de la construction (colonne montante de gaz, poutrelles métalliques, etc.).

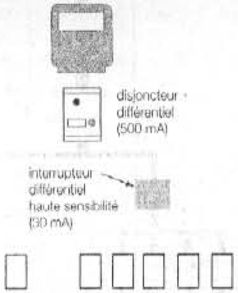
Tableau de répartition



DOC. PROMOTELEC

PROTECTION DIFFÉRENTIELLE

L'installation électrique de chaque construction doit être commandée par un disjoncteur général placé à l'origine du circuit, ce disjoncteur est le plus souvent bipolaire et différentiel 500 mA, il se trouve sur le tableau d'abonné et est posé par EDF.
Les circuits prise de courant et les circuits desservant la salle d'eau doivent être protégés par au moins un dispositif différentiel à la haute sensibilité (30 mA ou moins). On les positionne sur le tableau de distribution.

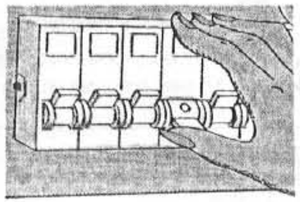


DOC. PROMOTELEC

PROTECTION ET SECTIONNEMENT DES CIRCUITS ÉLECTRIQUES

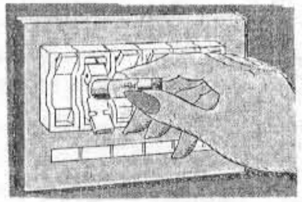
Les circuits électriques sont protégés contre les surcharges et les courts-circuits par un dispositif bipolaire (phase + neutre) qui peut être :

Un disjoncteur divisionnaire



OU

Un coupe-circuit à cartouche fusible



Calibre maximal en ampères des dispositifs de protection

Section des conducteurs	Cartouches fusibles	Disjoncteurs divisionnaires
1,5 mm²	10 A	15 A-16 A
2,5 mm²	20 A	25 A
4 mm²	25 A	32 A
6 mm²	32 A	38 A-40 A

DOC. PROMOTELEC

CONDUCTEURS

- **Types de monoconducteurs utilisés :**



H07VU

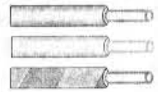


H07VR

On emploie aussi des câbles gainés souples ou rigides à 3, 4 ou 5 conducteurs (séries H 05, A 05).

- **Couleurs des conducteurs**

Phase : rouge, marron, noir.
Neutre : bleu.
Terre : vert-jaune.



- **Sections minimales des conducteurs**

- Circuits foyers lumineux fixes 1,5 mm² en cuivre
- Circuits prises 16 A 2,5 mm² en cuivre
- Circuit chauffe-eau 2,5 mm² en cuivre
- Circuit machine à laver le linge 2,5 mm² en cuivre
- Circuit lave-vaisselle 2,5 mm² en cuivre
- Circuit appareils de cuisson 6 mm² en cuivre
- Circuit four électrique 2,5 mm² en cuivre (pour appareil indépendant)
- Circuits chauffage (convecteurs) 1,5 mm² jusqu'à 2 300 W (1) ; 2,5 mm² jusqu'à 4 600 W (1)

Chaque circuit doit assurer une seule fonction.

(1) Puissance totale des convecteurs à alimenter par le circuit.

NOMBRE MINIMAL DE CIRCUITS

Type de logement	Nombre de pièces principales	Nombre de circuits						
		Foyers lumineux fixes	Prises de courant 16 A	Machine à laver le linge	Cuisinière (2)	Chauffe-eau	Lave-vaisselle
I	1		1 (1)			1	
1 bis	1	1	2	1	1	1	
II	2	1	1	1	1	1	1
III	3	2	2	1	1	1	1
IV	4	2	2	1	1	1	1
V	5	3	3	1	1	1	1
VI	6	4	4	1	1	1	1

(1) Exceptionnellement ce circuit peut alimenter les foyers lumineux fixes.
(2) Prévoir un circuit par appareil de cuisson indépendant (table de cuisson, four...).

- Le lave-linge, le lave-vaisselle, les appareils de cuisson et le chauffe-eau doivent être alimentés chacun par un circuit spécialisé.
- Les circuits ne doivent pas comporter plus de 5 points d'utilisation.
- 1 prise double = 1 point d'utilisation.

  La prise double est constituée de 2 prises 16 A en un ensemble monobloc.
- Chaque foyer lumineux mobile (lampadaire, lampe de chevet...) peut être alimenté par une prise 16 A commandée par interrupteur et raccordée en 1,5 mm² cuivre sur un circuit d'éclairage.

NOMBRE MINIMAL DE FOYERS LUMINEUX ET PRISES DE COURANT

Pièces de l'habitation ou fonction	Foyers lumineux fixes	Prises 16 A (2)	Circuits spécialisés	
			Prises 16 A	Prise ou boîte 32 A
Salle de séjour	1	5 (3)		
Chambres	1 (1)	3		
Cuisine	2	3	2 (4)	1
Salle d'eau	2	1 ou 2		
Entrée	1	1		
Lavage du linge			1	

(1) Une des prises 16 A commandée par interrupteur peut remplacer le foyer lumineux fixe.
(2) Les prises 16 A citées dans cette colonne peuvent être du type simple ou double.
(3) Au moins 1 tous les 3 mètres en suivant le pourtour de la pièce.
(4) Une pour le lave-vaisselle, et une pour le four électrique, s'il est indépendant.

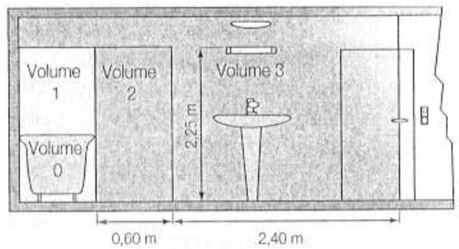
ALIMENTATION DES APPAREILS

• **Appareils de forte puissance**
Circuits spécialisés :
- socle bipolaire 16 A pour machine à laver le linge,
- socle bipolaire 16 A pour lave-vaisselle,
- socle bipolaire 32 A ou boîte de connexion pour cuisinière électrique ou table de cuisson,
- socle bipolaire 16 A pour four électrique s'il est indépendant.

• **Autres appareils**
- socles bipolaires 16 A.

  Les prises de courant doivent comporter un contact de terre et celles de 16 A doivent en outre être à éclipses.

■ ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DE LA SALLE D'EAU



• **Volume 1**
- Volume situé au-dessus de la baignoire (1) jusqu'à 2,25 m du sol (2).
- Espace sous la baignoire, s'il est accessible sans avoir recours à un outil.

Autorisé :
- Chauffe-eau électrique à accumulation (4).

Indice de protection IP × 4 (⚠ ⚠).

• **Volume 2**
0,60 m autour de baignoire (1), sur une hauteur de 2,25 m.

Autorisés :
- Appareils de classe II (⧈) protégés par un DRHS (3) 30 mA max.

Indice de protection IP × 3 ou (⚠).
- Une prise rasoir alimentée par un transformateur de séparation.
- Chauffe-eau électrique à accumulation (4).

• **Volume 3**
2,40 m autour du volume 2, sur la hauteur du local et au-dessus des volumes 1 et 2.

Autorisés :
- Appareils et appareillages protégés par un DRHS (3) 30 mA.

Indice de protection IP × 1 ou 🌢.
- Chauffe-eau électrique à accumulation (4).

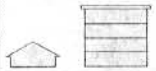
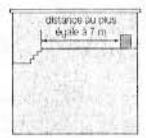
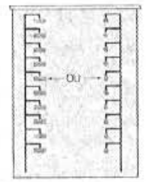
(1) Ou du bac à douche. (2) Ou du fond de la baignoire s'il est à plus de 0,15 m au-dessus du sol. (3) DRHS : dispositif différentiel haute sensibilité. (4) Si le chauffe-eau est raccordé à des canalisations d'eau isolantes, la protection par DRHS 30 mA est nécessaire.

Notes :
- Une liaison équipotentielle doit être assurée dans les volumes 1, 2 et 3 entre toutes les canalisations métalliques (eau froide, eau chaude, vidange, chauffage, gaz, etc.), les corps des appareils sanitaires métalliques et tous les autres éléments conducteurs accessibles (huisseries métalliques...).

  Elle doit être constituée par un conducteur de 2,5 mm² de section s'il comporte une protection mécanique, et 4 mm² s'il n'en comporte pas. Cette liaison doit être reliée à un conducteur de terre de la salle d'eau, par exemple celui desservant les prises de courant avec terre ou celui du chauffe-eau.
- Interrupteurs, socles de prises de courant, boîtes de connexion, douilles posés en salle d'eau ne doivent comporter aucune partie métallique accessible (à l'exception des vis de fixation et dispositifs analogues).

ÉCLAIRAGE DE SÉCURITÉ DES BÂTIMENTS D'HABITATION

■ CLASSEMENT DES BÂTIMENTS D'HABITATION ET TYPES D'ÉCLAIRAGE

1re et 2e familles	3e famille		4e famille
Pas plus de trois étages sur rez-de-chaussée	Plus de trois étages et plancher du logement le plus haut à 28 mètres au plus		Plancher du logement le plus haut à plus de 28 mètres et à 50 mètres au plus
Pas de règle particulière pour l'éclairage 	3e famille A – Au plus 7 étages sur rez-de-chaussée – Au plus 7 mètres entre la porte palière du logement le plus éloigné et l'accès à l'escalier 	3e famille B – Ne satisfaisant pas aux conditions de la 3e famille A 	

Blocs autonomes NF-BAES pour habitation.
Éclairage sur circuit issu directement du tableau principal et sélectivement protégé.

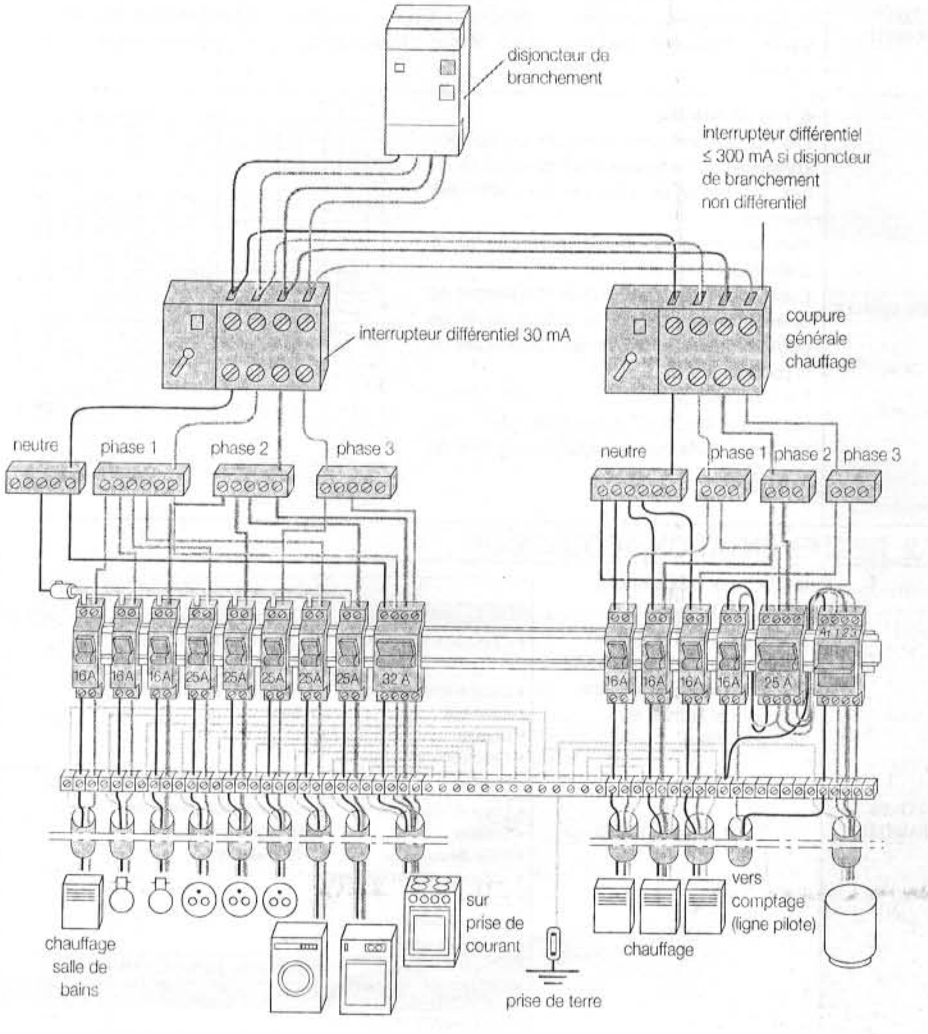
DOC. PROMOTELEC

INSTALLATION ÉLECTRIQUE TRIPHASÉE

Bien que la distribution monophasée présente un grand nombre d'avantages pour l'usager, un branchement en triphasé s'impose si l'usager désire utiliser des appareils comportant un moteur triphasé ou dans le cas d'impossibilité technique du réseau.

Une installation alimentée en triphasé 4 fils (3 phases + neutre) comporte généralement des circuits triphasés et monophasés. Ces derniers doivent être répartis sur les 3 phases de façon à équilibrer les puissances appelées sur chacune d'elles.

Exemple de raccordement



DOC. PROMOTELEC

17 ISOLATION ACOUSTIQUE

17.1 NOTIONS ÉLÉMENTAIRES ET DÉFINITIONS

CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

Le son est une sensation auditive produite par une variation rapide de la pression de l'air. Le son a deux caractéristiques :

- Sa **fréquence**, mesurée en hertz, permet de distinguer :
  - les graves (20 à 400 Hz),
  - les médiums (400 à 1 600 Hz),
  - les aigus (1 600 à 20 000 Hz).
- Sa **pression acoustique** (niveau sonore). Elle est mesurée en pascals.

Le niveau sonore est défini par le rapport de la pression acoustique à une pression de référence qui correspond au seuil minimum audible par l'oreille humaine. Il se mesure en décibel (dB).

■ ADDITION DES DÉCIBELS

La simplification de l'échelle de mesure des bruits et l'utilisation du décibel comme unité (valeur logarithmique) ne permet pas d'ajouter arithmétiquement les décibels de deux bruits simultanés pour arriver au niveau sonore global.

- pour deux bruits de niveaux très différents (écart > 10 dB), le plus fort couvre complètement le plus faible.
  Ex. : 60 dB + 80 dB = 80 dB.
- pour deux bruits de niveaux voisins (écart < 10 dB), il faut calculer le niveau résultant à l'aide de la courbe ou du tableau ci-dessous.



Différence entre les 2 niveaux sonores	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valeur à ajouter au niveau le plus élevé	3	2,6	2,1	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4

■ ÉCHELLE DES NIVEAUX SONORES

Niveau en dB	Nature des bruits	Impression subjective
130	**Réacteur au sol**	*Seuil de douleur*
120	Coups de marteau sur acier	*Bruits supportables un court instant*
110	Atelier de chaudronnerie	
100	**Marteau piqueur à 3 m**	*Bruits pénibles*
90	Forge	
80	Rue à grande circulation	*Bruits gênants*
70	**Télévision à 1 m** Trafic moyen à 30 m	
60	Conversation courante	*Bruits courants*
50	Rue à faible circulation	*Calme*
40	Bureau tranquille	
30	**Jardin calme**	*Très calme*
20	Studio d'enregistrement	
10	Laboratoire d'acoustique	*Silence inhabituel*
0	Seuil d'audibilité	

■ DÉCIBEL PONDÉRÉ : dB(A)

Le décibel « A » ou dB(A) est l'unité utilisée pour caractériser les niveaux de bruits dans les bâtiments d'habitation. Contrairement au dB, unité physique, le dB(A) est une unité dite physiologique parce qu'il corrige les niveaux sonores en fonction de la sensibilité différente de l'oreille aux sons aigus et aux sons graves. Le résultat de la pondération des niveaux sonores représente ce qui est perçu par l'oreille humaine.

Fréquence en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau sonore en dB (1)	60	66	78	75	72	70
Pondération en dB	– 16	– 8	– 3	0	+ 1	+ 1
Niveau sonore en dB(A) (2)	44	58	75	75	73	71

(1) C'est le bruit physique.
(2) C'est le bruit perçu par l'oreille.

ISOLATION ET CORRECTION ACOUSTIQUES

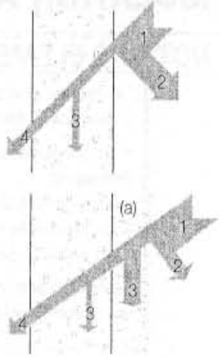
ONDE SONORE

Lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi :

- une partie de l'énergie incidente (1) la traverse ; cette énergie transmise (4) est du domaine de l'isolation acoustique,
- une partie de l'énergie n'est pas transmise et se décompose en :
  - une partie absorbée (3)
  - une partie réfléchie (2).

  Ces deux parties sont du domaine de la correction acoustique.

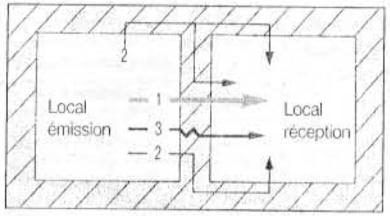
Un matériau absorbant (a) posé sans parement, augmente la partie absorbée et réduit la partie réfléchie du bruit dans le local où il est placé.



INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ET ISOLEMENT ACOUSTIQUE

PROPAGATION ACOUSTIQUE

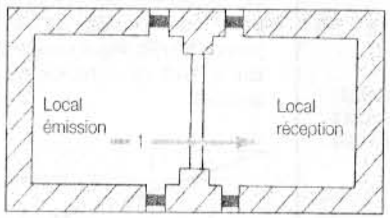
L'isolation acoustique traite de la propagation des bruits d'un local à un autre. Quand on émet un bruit dans un local, l'énergie acoustique est transmise dans le local voisin par 3 chemins différents.



1. Transmission directe
2. Transmissions latérale
3. Transmission parasite

INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE : R

Il ne prend en compte que la transmission directe mesurée en laboratoire à l'aide d'un sonomètre. L'indice d'affaiblissement acoustique « R » caractérise la qualité d'une barrière acoustique. Plus « R » est grand, plus la paroi est isolante.



1. Transmission directe

ISOLEMENT BRUT : D

Il prend en compte la totalité de l'énergie qui parvient dans le local de réception.

C'est la différence entre le niveau de bruit dans un local d'émission (Le) et le niveau de bruit dans le local de réception (Lr).

$$D = Le - Lr$$

L'isolement brut est mesuré *in situ* et dépend du temps de réverbération du local de réception.

ISOLEMENT NORMALISÉ : Dn

C'est l'isolement brut corrigé en fonction du rapport entre la durée de réverbération réelle mesurée dans le local de réception et 0,5 seconde (pour les locaux d'habitation).

$$Dn = Le - Lr + 10 \log(T/0{,}5)$$

T : temps de réverbération du local de réception (en secondes)

Dn est toujours inférieur à R.

En pratique, pour les constructions courantes, avec mise en œuvre des matériaux selon les règles de l'art, on peut prendre :

Dn = R – 5 dB(A) jusqu'à 50 dB(A)

Dn = R – 7 dB(A) au-delà de 50 dB(A)

Pour obtenir Dn = 51 dB(A), il faut choisir R ≥ 58 dB(A).

INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ET ISOLEMENT ACOUSTIQUE (suite)

DOC. LAFARGE

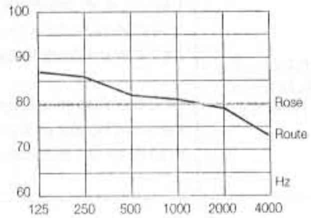
BRUITS UTILISÉS POUR LES MESURES

- **Bruit rose**

Il sert de bruit d'émission de référence pour le bruit émis à l'intérieur du bâtiment. Il est également utilisé pour représenter les bruits émis par le trafic aérien.

- **Bruit route**

Il sert de bruit d'émission de référence pour les bruits émis par le trafic routier. Par exemple, pour un mur en parpaings pleins de 20 cm d'épaisseur :
R rose = 59 dB(A).



TYPES DE BRUITS

BRUITS AÉRIENS

Ils sont émis dans un local et se propagent dans l'air (télévision, conversation, circulation, etc.).

BRUITS D'IMPACT

Ils sont provoqués par le choc d'un objet sur une paroi (pas, chutes d'objets, etc.).

BRUITS D'ÉQUIPEMENTS

Ils sont émis par les appareils et installations diverses (tuyauteries, ascenseurs, etc.).

PAROIS SIMPLES

DOC. LAFARGE

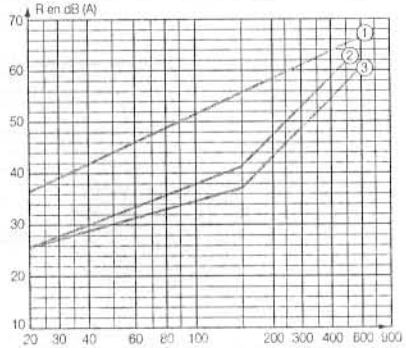
LOI DE MASSE

Elle est utilisable pour des murs ou cloisons constitués de matériaux homogènes et continus, en béton ou carreaux de plâtre par exemple.

Plus une paroi est lourde, plus son indice d'affaiblissement est grand.

L'utilisation de la courbe ci-contre permet de déterminer rapidement la valeur de R en dB(A) en fonction de la masse surfacique de la paroi en kg/m².

Par exemple, pour obtenir un indice d'affaiblissement de 59 dB(A) en bruit rose, il faut une paroi d'une masse surfacique de plus de 400 kg/m².



1. Loi de masse théorique
2. Loi de masse expérimentale pour un bruit rose
3. Loi de masse expérimentale pour un bruit route

17.2 RÉGLEMENTATION ACOUSTIQUE

TYPES D'HABITATION

LOCAUX SCOLAIRES ET HÔTELS

Selon le cahier des recommandations techniques 1987 du ministère de l'Éducation nationale et l'arrêté du 14 février 1986.

Locaux scolaires selon CRTCS 1987		
Local émission	**Local réception**	**Dn mini dB(A)**
• Circulation horizontale	• Local d'enseignement • Bureau	26
• Local d'enseignement • Infirmerie • Bureau • Circulation verticale	• Local d'enseignement • Bureau	38
• Cuisine	• Salle à manger	38
• Local d'habitation • Cuisine • Salle de musique • Local de rassemblement • Abri • Local de détente • Sanitaires collectifs	• Local d'enseignement (dont salle de repos et bibliothèque)	50

Hôtels selon arrêté du 14 février 1986	
Localisation	**Dn mini dB(A)**
• Entre couloir et chambre	41
• Entre chambres	51

AUTRES LOCAUX (valeurs indicatives non réglementaires)

Bureaux

L'isolement acoustique entre bureaux est défini par les documents du marché.

Localisation	Dn mini dB(A)
• Entre bureaux et circulation	35
• Entre bureaux	40
• Entre bureau de direction autres locaux	50
• Entre salle de réunion et autres locaux	50

Hôpitaux

Les isolements acoustiques sont spécifiés dans les appels d'offre.
Les valeurs généralement retenues sont celles d'une étude du ministère de la Santé.

Localisation	Dn mini dB(A)
• Entre chambre et circulation	31
• Entre chambres	41
• Entre chambres et autres locaux	45

BÂTIMENTS D'HABITATION (arrêté du 28 octobre 1994)

Les valeurs données en dB(A) dans le tableau ci-dessous représentent les exigences réglementaires minimales.

		Local d'émission	Exigences pour les pièces principales	Exigences pour les cuisines et salles d'eau
Intérieur	Isolation minimum aux bruits aériens par rapport à un bruit rose à l'émission	Local d'un logement, à l'exclusion des garages individuels	54	51
		Circulations communes intérieures au bâtiment	41 (1) 54 (2)	38 (1) 51 (2)
		Garage individuel d'un logement, garage collectif	56	53
		Local d'activité à l'exclusion des garages	59	56
	Transmission maximum des bruits d'impact	Tout local du bâtiment, à l'exception des dépendances du logement, des balcons et loggias non situés au-dessus d'une pièce principale, des escaliers collectifs, s'il y a un ascenseur, des locaux techniques	65	/
	Niveau maximum du bruit engendré par les équipements, uniquement pièces principales et cuisines	Appareil individuel de chauffage	45 (3) 35 (2)	50 (4)
		Appareil individuel de climatisation	40	
		Ventilation mécanique en position de débit minimal	30	35
		Équipement individuel situé dans un autre logement	30	35
		Équipement collectif	30	35
	Correction acoustique dans les circulations	Pose de revêtements absorbants	Aire d'absorption équivalente **A = S × alpha W** *A > 1/4* surface au sol des circulations *S* : surface du revêtement absorbant *alpha W* : indice d'évaluation de l'absorption	
Extérieur	Isolation minimum aux bruits routiers		30 dB(A) pour les pièces principales et cuisines	

(1) Si communication avec des logements.
(2) Dans les autres cas.
(3) À puissance minimale si la cuisine est ouverte sur le séjour.
(4) Dans les cuisines uniquement.

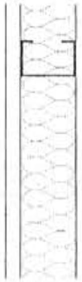
LABEL CONFORT ACOUSTIQUE

Le label confort acoustique (arrêté du 10 février 1972) fixe des exigences plus sévères qui peuvent donner accès à des financements complémentaires pour les logements aidés par l'État.

17.3 SOLUTIONS D'ISOLATION AUX BRUITS AÉRIENS

ISOLATION DES CLOISONS

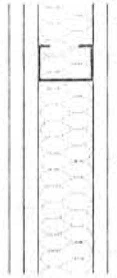
SOLUTIONS FIBRAVER : CLOISON À SIMPLE OSSATURE AVEC PLAQUES DE PLÂTRE



• Cloison 72/48

BA 13
Fibrapan Acoustic 45 mm
Ossature de 48 mm
BA13

Ép. (mm) Fibrapan acoustic	Indices d'affaiblissement acoustique	
	R rose dB(A)	Rw dB
45	41	43

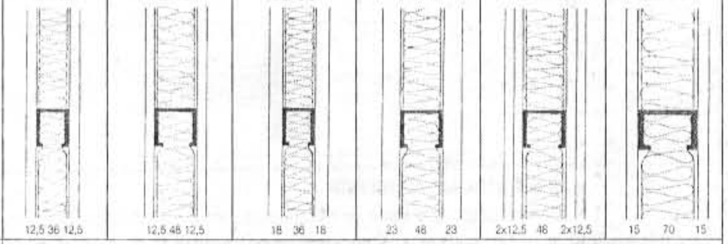


• Cloison 98/48

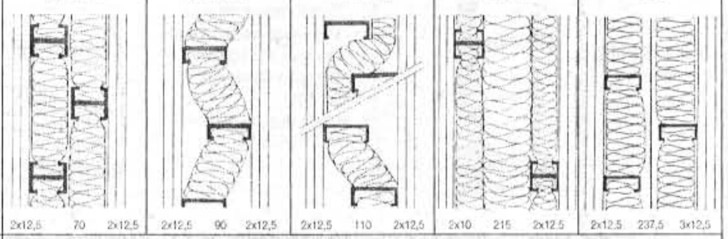
2 BA 13
Fibrapan Acoustic 45 mm
Ossature de 48 mm
2 BA13

Ép. (mm) Fibrapan acoustic	Indices d'affaiblissement acoustique	
	R rose dB(A)	Rw dB
45	48	50

SOLUTIONS ISOVER : PANOLÈNE ACOUSTIQUE ROULÉ (PAR)



	61/36	72/48	72/36	94/48	98/48	100/70
Types cloisons distributives						
Produit conseillé	Panolène acoustique roulé					
Ép. (mm)	30	45	30	45	45	60
R dB (A) rose	41	42	45	46	47	48
Origine des PV	CEBTP Éternit	CNRS Plâtres Lafarge	CSTB Isover Saint-Gobain Plâtres Lafarge	CSTB Placoplâtre	CSTB Isover Saint-Gobain	CEBTP Éternit

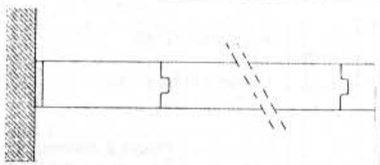
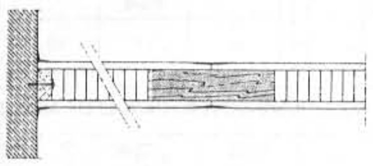
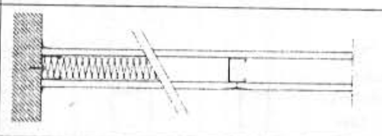


	120/70	140/90	160/110		260/215	300
Types cloisons séparatives						
Produit conseillé	Panolène acoustique roulé					
Ép. (mm)	30x2	70	45	70	45 + 120 + 45	2x45
R dB (A) rose	60	60	61	62	70	74 (Dn)
PV	CSTB Plâtres Lafarge	CSTB Isover Saint-Gobain Placoplâtre	CSTB Isover Saint-Gobain Plâtres Lafarge		CSTB Éternit	VERITAS Placoplâtre

DOC. FIBRAVER ET ISOVER

ISOLATION DES CLOISONS (suite)

■ SOLUTIONS PLÂTRES LAFARGE

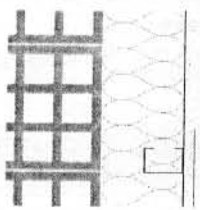
R en DB(A)	Cloisons simples, maçonnées non porteuses		
31	Carreaux de plâtre PF3		PF3 50
32			PF3 70 alvéolé
33			PF3 60
34			PF3 70
35			PF3 70 THD
38			PF3 100
41			PF3 100 THD
R en DB(A)	**Cloisons sèches distributives**		
31	Pregyfaylite D50		Pregyplac BA 10. Réseau alvéolaire. Pregyplac BA 10.
31	Pregyfaylite D60		Pregyplac BA 10. Réseau alvéolaire. Pregyplac BA 10.
33	Pregyfaylite D72		Pregyplac BA 13. Réseau alvéolaire. Pregyplac BA 13.
36	Pregymétal D72/48		Pregyplac BA 13. M 48. Pregyplac BA 13.
43			Pregyplac BA 13. M 48. LM 45. Pregyplac BA 13.

DOC. LAFARGE

DOUBLAGE DES MURS

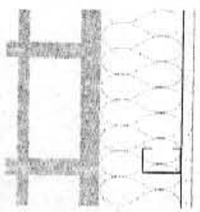
■ SOLUTIONS FIBRAVER

Contre-cloisons à base de plaques de plâtre sur ossature métallique



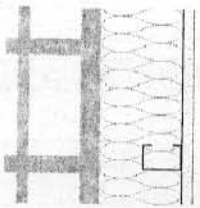
Enduit ciment 10 mm
Briques creuses 200 mm
Fibrapan PV 100 mm
Ossature de 48 mm
BA 13
Procès verbal du CEBTP n° 2312-6-392/2

Fibrapan PV	Indices d'affaiblissement acoustique		
	R rose dB(A)	R route dB(A)	Rw dB
mur seul	45	43	45
avec 100 mm de Fibrapan PV et contre-cloison	63	59	63
Gain	18	16	18



Enduit ciment 10 mm
Parpaings creux 200 mm
Fibrapan PV 100 mm
Ossature de 48 mm
BA 13
Procès verbal du CEBTP n° 2312-6-392/4

Fibrapan PV	Indices d'affaiblissement acoustique		
	R rose dB(A)	R route dB(A)	Rw dB
mur seul	55	51	55
avec 100 mm de Fibrapan PV et contre-cloison	66	61	66
Gain	11	10	11



Enduit ciment 10 mm
Parpaings creux 200 mm
Fibrapan R+ 100 mm
Ossature de 48 mm
BA 13
Procès verbal du CEBTP n° 2312-6-392/3

Fibrapan PV	Indices d'affaiblissement acoustique		
	R rose dB(A)	R route dB(A)	Rw dB
mur seul	55	51	55
avec 100 mm de Fibrapan PV et contre-cloison	66	61	67
Gain	11	10	12

DOC. FIBRAVER

■ SOLUTIONS ISOVER

Complexe de doublage calibel



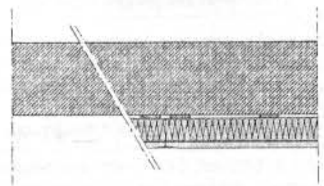
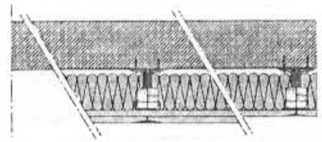
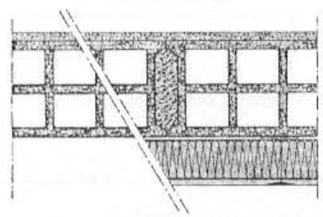
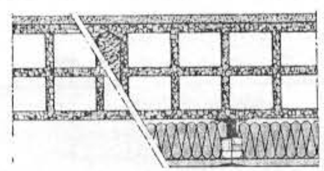
DOC. ISOVER

Murs	Carreaux plâtre				Briques creuses						Parpaings creux						Parpaings pleins				Béton			
Épaisseurs (cm)	5		7		4		10		20		10		15		20		12,5		20		10		18	
Masse surfacique (kg/m²)	42		70		60		115		238		155		230		250		290		400		250		406	
Affaiblissement mur nu	23	**28**	**32**	**35**	29	**34**	32	**36**	**46**	**48**	41	**45**	46	**51**	**52**	**55**	48	**52**	**56**	**61**	**45**	**49**	54	**59**
10 + 50	44	51	**49**	**55**	44	50	48	**54**	**58**	**64**	56	**62**	56	**63**	**60**	**66**	57	**63**	64	69	**50**	**57**	62	**67**
10 + 70	47	**53**	50	56	47	53	50	**56**	60	65	57	62	59	64	61	67	60	65	65	70	55	61	64	**69**
10 + 80	48	53	**51**	**57**	48	54	51	57	**62**	**68**	58	63	59	65	**62**	**69**	61	66	**66**	**72**	**57**	**63**	65	70

☐ *Bruits Roses* ▩ *Bruits Routes*

Note : les chiffres en gras indiquent une valeur mesurée. Les autres indiquent une valeur estimée.

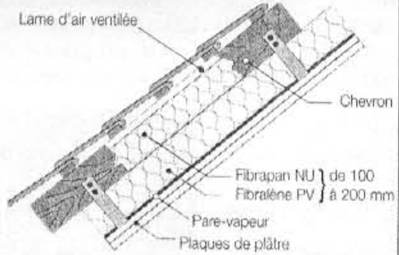
■ SOLUTIONS DES PLÂTRES LAFARGE

R en dB (A)	Désignation	Schémas	Constitution
	Doublage de murs porteurs		
49	Voile béton		Voile béton 100 mm.
58			Voile béton 100 mm + Prégyroche 10+50.
58			Voile béton 150 mm.
66			Voile béton 150 mm + Prégyroche 10+50.
64			Voile béton 100 mm + Prégymétal CV 30 : • LM 75. Lame d'air 10 mm • Ossature S 47 verticale • 1 Prégyplac BA 13.
67			Voile béton 100 mm + Prégymétal CV 42 : • LM 75. Lame d'air 10 mm • Ossature S 47 verticale • 2 Prégyplac BA 13.
56	Parpaings creux		Parpaing creux 200 mm. Enduit ciment sur 1 face (15 mm)
63			Parpaing creux 200 mm. Enduit ciment sur 1 face (15 mm) + Prégyroche 10+80.
66			Parpaing creux 200 mm. Enduit ciment sur 1 face (15 mm) + Prégymétal CV 30 : • LM 75 • Ossature S 47 verticale • 1 Prégyplac BA 13.

DOC. LAFARGE

ISOLATION DES TOITURES

■ SOLUTIONS FIBRAVER



Les épaisseurs réglementaires d'isolant thermique à base de laine de verre sont très favorables à l'acoustique. Suivant le type de couverture, on observe les résultats suivants :

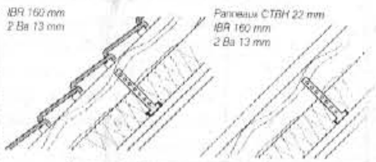
Cas des toitures étanches à l'air (ardoises, bardeaux bitumés, fibre ciment)		
Épaisseur de laine de verre en mm	Nb de plaques plâtre BA 13 en parement	Isolement acoustique au bruit routier en dB(A)
100	1	40
200	1	42 – 43
200	2	> 45
Cas des toitures non étanches à l'air (tuiles à emboîtement)		
Épaisseur de laine de verre en mm	Nb de plaques plâtre BA 13 en parement	Isolement acoustique au bruit routier en dB(A)
100	1	35
200	1	37 – 40
200	2	40 – 45

Ces valeurs tiennent compte d'une lame d'air entre la laine de verre et la couverture

■ SOLUTIONS ISOVER

IBR monocouche

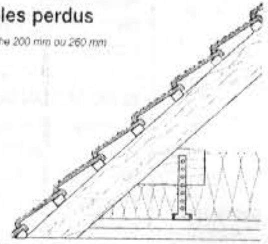
• Combles habitables sous rampant



	Toiture seule	Toiture avec plafond et IBR 160 mm*	Toiture panneaux CTBH avec IBR 160 mm**
R rose	16 dB(A)	43 dB(A)	53 dB(A)
R route	16 dB(A)	38 dB(A)	47 dB(A)

** Plafond Placoplâtre + IBR PV CETE de l'Est*
*** Plafond panneaux CTBH + IBR Source Plâtres Lafarge*

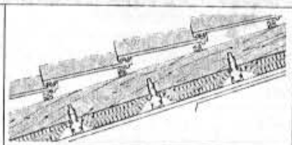
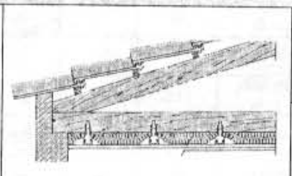
• Combles perdus



	Toiture seule	Toiture avec plafond et IBR 200 mm	Toiture avec plafond et IBR 260 mm
R rose	16 dB(A)	52 dB(A)	54 dB(A)
R route	16 dB(A)	47 dB(A)	49 dB(A)

PV CETE de l'Est/Placoplâtre

■ SOLUTIONS PLÂTRES LAFARGE

R en dB(A)	Désignation	Schémas	Constitution
Plafond sous toitures ou sous rampants			
38	Plafond Prégymétal		Tuiles mécaniques. Charpente. Laine minérale 160 mm. Ossature S 47, 60 cm. Prégyplac BA 13.
42			Tuiles mécaniques. Charpente. Laine minérale 160 mm. Ossature S 47, 60 cm. 2 Prégyplac BA 13.
Plafonds sous combles perdus			
46	Plafond Prégymétal		Tuiles mécaniques. Charpente ou solivage. Laine minérale 160 mm. Ossature S 47, 50 cm. Prégyplac BA 13
59			Shingle (non représenté) sur CTBH. Charpente ou solivage. Laine minérale 160 mm. Ossature S 47 50 cm.

DOC. FIBRAVER, ISOVER, LAFARGE

17.4 SOLUTIONS D'ISOLATION AUX BRUITS D'IMPACT

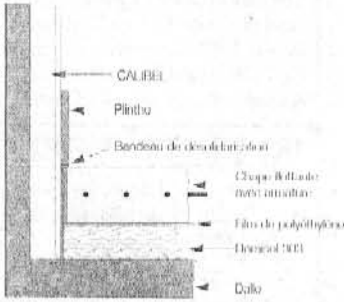
PANNEAUX RÉSILIENTS SOUS CHAPE FLOTTANTE ARMÉE

■ PERFORMANCES ACOUSTIQUES AUX BRUITS D'IMPACT ET AUX BRUITS AÉRIENS

Les essais normalisés sont effectués sur une dalle pleine en béton de 14 cm et de Domisol 303 sous chappe flottante de 40 mm.

Domisol 303	Bruits d'impact		Bruits aériens
Épaisseur (mm)	Niveaux résiduels Ln dB(A)	Indices d'efficacité Δ L dB(A)	Indices d'affaiblissement acoustique R dB(A)
15	58	25	58
20 (1)	57	26	59
30 (1)	55	28	61
40 (1)	55	28	59

(1) PV CSTB n° 17.539



DOC. ISOVER

17.5 SOLUTIONS POUR LA CORRECTION ACOUSTIQUE

La correction acoustique traite de la propagation des bruits à l'intérieur d'un même local. En mettant un matériau fibreux sur la paroi, on augmente la partie d'énergie absorbée au détriment de l'énergie réfléchie.

La correction acoustique n'a aucune influence sur l'énergie transmise à travers la paroi et ne constitue pas une solution pour l'isolation acoustique.
La mise en place d'un matériau absorbant diminue le temps de réverbération du local.

■ COEFFICIENT DE SABINE : α

Il caractérise le degré d'absorption acoustique d'un matériau.

α = énergie absorbée/énergie incidente

Le coefficient α est compris entre 0 et 1.
$\alpha = 0$ aucune énergie absorbée
$\alpha = 1$ toute l'énergie est absorbée
Le degré d'absorption acoustique d'un matériau varie en fonction des fréquences. Les coefficients α Sabine sont mesurés par bande d'octave.

■ CALCUL DU TEMPS DE RÉVERBÉRATION

Formule de Sabine :

$$T = 0{,}161\ V/A$$

T : temps de réverbération en secondes
V : volume de la salle en m^3
A : surface d'absorption équivalente.

$$A = \Sigma\ \alpha i\ Ai$$

Ai : surface d'un élément de paroi de coefficient de Sabine αi.

■ PERFORMANCES ACOUSTIQUES DES LAINES MINÉRALES ISOVER SAINT-GOBAIN

Produits ▼	Octave ▶	125	250	500	1000	2000	4000
PAR	30 mm	0,15	0,35	0,55	0,75	0,80	0,85
	45 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
	70 mm	0,30	0,70	0,90	1,00	0,90	1,00
IBR nu	80 mm	0,45	0,80	1,00	0,95	0,90	0,90
	100 mm	0,50	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
Panolène roulé nu	75 mm	0,30	0,80	1,00	0,95	0,90	0,90
Panolène PB nu	60 mm	0,25	0,50	0,90	0,90	0,90	0,90
	100 mm	0,45	1,00	1,00	0,95	0,90	0,90
Panolène Façade	60 mm	0,30	0,50	0,90	0,90	0,90	0,90
	100 mm	0,45	1,00	1,00	0,95	0,95	0,90
Panolène TGR nu	50 mm	0,40	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
Panotoit	80 mm	0,65	0,95	1,00	0,90	0,90	0,90

Produits ▼	Octave ▶	125	250	500	1000	2000	4000
Panolène GR nu	50 mm	0,30	0,70	1,00	0,95	0,90	0,95
	75 mm	0,35	0,95	1,00	0,95	0,95	0,95
	100 mm	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Shedisol	50 mm	0,55	0,80	0,75	0,60	0,25	0,25
Cloisolène LR	40 mm	0,15	0,40	0,75	0,85	0,85	0,95
Thermipan 313/400	50 mm	0,15	0,55	0,70	0,75	0,90	0,90
Thermipan 333/600	50 mm	0,20	0,75	1,00	1,00	0,95	0,85
Thermipan 343/700	50 mm	0,20	0,75	1,00	1,00	0,95	0,95
Domisol Coffrage	40 mm	0,20	0,60	0,95	0,90	0,90	0,90
	80 mm	0,65	0,95	1,00	0,90	0,90	0,90
	100 mm	0,70	0,95	0,95	0,95	0,90	1,00

PV. CEBTP (light grey) — *Valeurs mesurées au CRIR Isover Saint-Gobain* (dark grey)

18 AÉRATION ET VENTILATION DES LOGEMENTS

L'air d'une habitation doit être régulièrement renouvelé pour éviter les nuisances d'une atmosphère confinée.
L'air neuf apporté à l'intérieur d'un logement est nécessaire à la respiration des occupants et au bon fonctionnement des appareils de chauffage.
Depuis 1982 une ventilation naturelle ou mécanique est obligatoire dans tout logement neuf.
En aération globale, l'entrée d'air se fait par les pièces principales (séjour, chambre...) et la sortie par les pièces humides pour éviter que les odeurs et la vapeur d'eau ne circulent dans le logement.

18.1 DÉBITS À EXTRAIRE

RÉGLEMENTATION

L'arrêté du 24 mars 1982 réglemente les débits minimum d'air extrait en fonction du nombre et du type des pièces d'habitation, ceci pour tous les types de ventilation (naturelle ou mécanique).

Nombre de pièces principales du logement	DÉBITS EXTRAITS EXPRIMÉS (m^3/h)				
	Cuisine	Salle de bains ou de douche commune ou non avec un cabinet d'aisance	Autre salle d'eau	Cabinet d'aisances – Unique	Cabinet d'aisances – Multiple
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	30	15
5 et plus	135	30	15	30	15

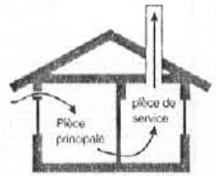
Des dispositifs individuels de réglage peuvent permettre de réduire les débits dans certaines conditions (pièce de service inutilisée, limitation de déperditions thermiques...). En règle générale, le débit total extrait et le débit réduit de cuisine sont au moins égaux aux valeurs ci-contre.

	Nombre de pièces principales						
	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimal en m^3/h	35	60	75	90	105	120	135
Débit total en cuisine en m^3/h	20	30	45	45	45	45	45

18.2 VENTILATION NATURELLE

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement utilise les courants d'air créés par les masses d'air chaud et d'air froid en disposant les grilles aux bons endroits et aux bonnes hauteurs.
Les entrées d'air se font par des grilles scellées dans les façades ou intégrées dans les menuiseries des pièces principales.
Les sorties d'air se font de la même manière ou par des conduits verticaux situés dans les pièces humides.

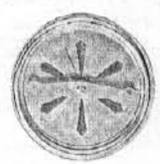


TYPES DE GRILLES

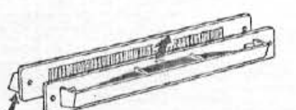
Fixe



Réglable
manuellement
(positions mini et maxi)



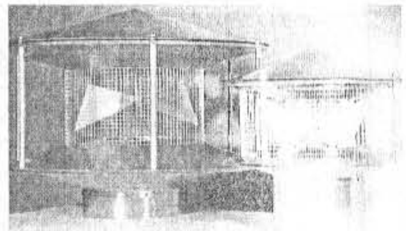
Autoréglable
(la pression du vent déforme une languette souple qui obture momentanément la grille)



■ VENTILATION STATIQUE

Elle permet un meilleur contrôle de l'air vicié par rapport à la ventilation naturelle. Elle utilise les composantes du vent pour assurer un tirage minimal en toutes circonstances.
Le débouché en toiture des conduits d'extraction est équipé d'un dispositif fondé sur le principe de Venturi qui assure dans les cas courants une dépression minimale et empêche le refoulement.
Bien évidemment le débit extrait est fonction des conditions aérauliques extérieures et ne peut suivre les besoins internes du logement (confection des repas...).

Ces systèmes sont souvent utilisés en réhabilitation de logements collectifs ventilés naturellement par conduit de type « shunt » ou conduits individuels.



■ VENTILATION STATO-MÉCANIQUE

Amélioration du système précédent par adjonction d'un moteur électrique et d'une turbine permettant d'assurer les débits de pointe. La mise en marche se faisant manuellement ou par horloge.

SYSTÈMES INDÉPENDANTS D'EXTRACTION DE L'AIR

■ AÉRATION INDIVIDUELLE RENOUVELÉE

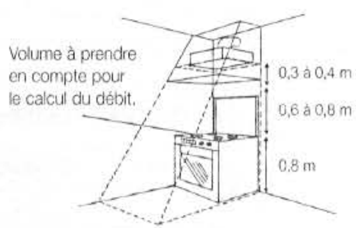
À la place d'avoir une ventilation centralisée, on utilise des appareils individuels (aérateurs de vitre, en plafond, hotte de cuisine, etc.) dans chaque espace ou chaque pièce selon son usage et sa spécification. Applicable en environnement domestique, tertiaire et industriel.
Exemple : les ventilateurs centrifuges axiaux peuvent se placer en début, milieu ou fin de conduit et fournissent une grande pression pour compenser les pertes de charges sur de longs conduits droits ou coudés.

Débit de l'aérateur

Le besoin en renouvellement d'air dépend du volume (V) du local, de l'usage du local et du nombre de renouvellements par heure (NRH) souhaité.
Le débit minimum que l'aérateur doit déplacer en une heure est alors calculé :

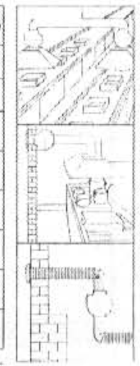
Débit minimum = V . NRH — nombre de renouvellements par heure
(Débit minimum : en m^3 ; V : volume en m^3)

Ventilation par hotte de cuisine



DOC. VORTICE

Modèle	CA 100-VO	CA 125-VO	CA 150-VO	CA 200N-VO	CA 200S-VO	CA 250-VO	CA 315-VO
Watts	70	75	76	74	132	167	149
Vol. m^3/h	235	325	460	700	870	1130	1250
Pression (mm H_2O)	4,3	1,75	1,3	3	4,5	1,4	1,7
P. max (mm H_2O)	38	33	30	37	58	58	56
Niveaux sonores – PWL dB(A)	67	66,5	66	70	77	77	78
Niveaux sonores – LPS dB(A) (3 m)	51,5	52	52	56	63	63,5	65
Isolement (1)	cl. 2[a]	cl. 2[a]	cl. 2[a]	cl. 2[a]	cl. 2[a]	cl. 2[a]	cl. 2[a]
Protection (1)	⚠	⚠	⚠	⚠	⚠	⚠	⚠



(1) Voir chapitre 16.

DOC. VORTICE

SYSTÈMES INDÉPENDANTS D'EXTRACTION DE L'AIR (suite)

TABLES DES PRINCIPAUX NRH À PRENDRE EN COMPTE

Usages industriels et grands locaux		Usages domestiques et petits locaux	
Local	**NRH**	**Local**	**NRH**
Banques	2 à 4	• Cuisine	
Bureaux	5 à 7	Appareil mural ou plafond	6 à 10
Cinémas-théâtres	7 à 9	Avec hotte décorative	5 à 8
Cuisines industrielles	15 à 25	• Salle de bains	
Bars, cafés, brasseries	9 à 11	Appareil mural, de vitre ou plafond	6 à 8
Fonderies, ferronneries	20 à 40	Appareil temporisé (avec Timer)	5 à 7
Garages	6 à 8	• Toilettes	
Laboratoires (changement d'air seul)	5 à 10	Appareil mural ou plafond	8 à 10
Teintureries industrielles	25 à 40	Appareil temporisé (avec Timer)	7 à 9
Teintureries/pressing	15 à 25	• Buanderie	
Toilettes (collectives)	10 à 12	Appareil mural, de vitre ou plafond	10 à 15
Restaurants d'entreprises	5 à 9	• Cave	
Hôpitaux/cliniques	4 à 6	Appareil de conduit	4 à 6
Piscines	15 à 30	• Garage	
Salles de restaurants	6 à 9	Appareil mural, de vitre ou plafond	4 à 8
Salles de réunions	4 à 8		
Salles de bal	8 à 10		

DOC. VORTICE

18.3 VENTILATION MÉCANIQUE CONTRÔLÉE (VMC)

Une VMC est un système global de renouvellement de l'air et d'évacuation de la condensation et des odeurs. Elle doit répondre aux exigences des DTU 68.1 et 68.2. On la trouve :

• **en habitat individuel**, les fabricants proposent des kits complets (extracteurs, bouches, conduits...) prédimensionnés en fonction de l'importance du logement,

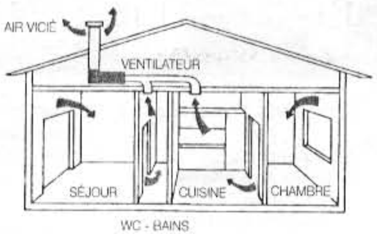
• **en habitat collectif**, tout le système est calculé en fonction des débits à extraire et suivant les spécifications du DTU 68.1.

Les principes de fonctionnement étant identiques, il ne sera traité dans ce chapitre que de la VMC en habitat individuel (voir *Mémotech Génie énergétique*, Éducalivre, pour la VMC en habitat collectif).

VMC SIMPLE FLUX

PRINCIPE

L'air neuf pris à l'extérieur est admis exclusivement dans les chambres et le séjour.
L'air vicié est extrait des pièces de services (cuisine, bains, WC...) par l'intermédiaire de bouches reliées à un groupe d'extraction par des conduits, puis évacué à l'extérieur.



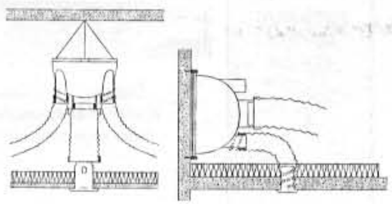
PRINCIPAUX COMPOSANTS

• Groupe d'extraction

Si possible placé dans les combles à proximité de la bouche de cuisine.

• Diamètre des différents piquages

- 80 mm pour piquages sanitaires
- 125 mm pour piquage cuisine
- 125 ou 150 mm pour le refoulement

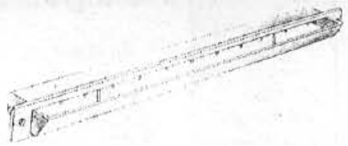


DOC. ALDES

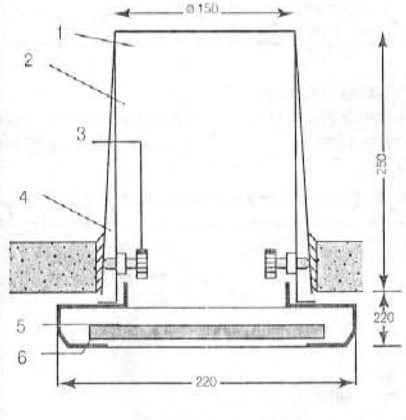
VMC SIMPLE FLUX (suite)

ENTRÉES D'AIR

Placées dans les chambres et le séjour, généralement dans la traverse supérieure des huisseries ou les coffres de volets roulants.

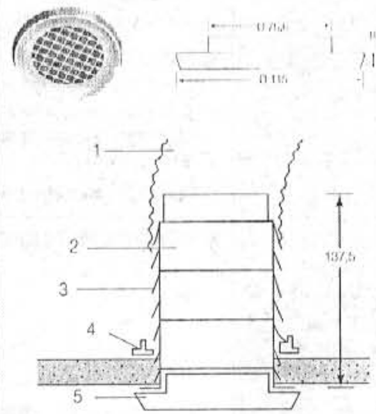


BOUCHES D'EXTRACTION EN CUISINE



1 manchette
2 pattes de fixation
3 vis à tête moletée
4 griffes
5 filtre
6 bouche cuisine

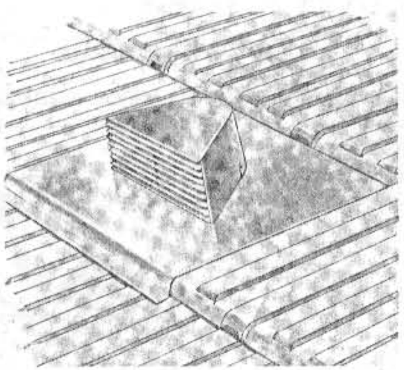
BOUCHES D'EXTRACTION EN SANITAIRE



1 conduit souple
2 manchette
3 griffes
4 bague de blocage
5 bouche

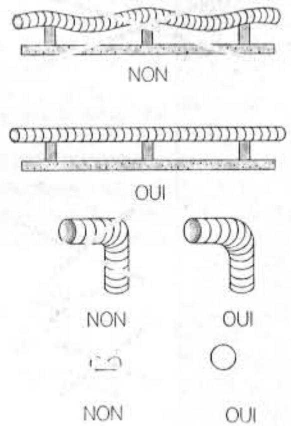
REFOULEMENT EN TOITURE

- soit chatières métalliques ou terre cuite
- soit tuile à douille munie d'un chaperon.



CONDUITS

de type souple en tissu de fibre de verre enrobé de PVC et tendus sur un fil métallique.

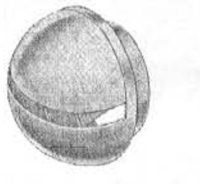


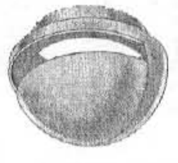
DOC. ALDES

VMC DOUBLE FLUX (suite)

■ BOUCHES D'INSUFFLATION

En cloison — En plafond





■ BOUCHES D'EXTRACTION

Elles sont identiques à celles de la VMC simple flux.

■ RÉSEAU DE CONDUITS

- L'air neuf pourra être pris directement dans les combles.
- L'air vicié devra obligatoirement être rejeté à l'extérieur.

VMC GAZ HYGRO RÉGLABLE

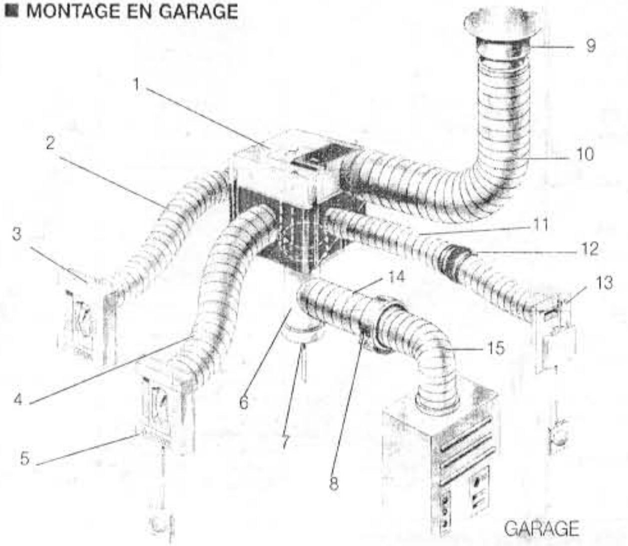
■ PRINCIPE

Ce système de ventilation mécanique permet :

- d'évacuer les produits de combustion de la chaudière gaz par le même groupe d'extraction.
- d'assurer l'aération du logement comme une ventilation hygroréglable classique,

La chaudière peut être placée indifféremment en cuisine, garage ou chaufferie.

■ MONTAGE EN GARAGE

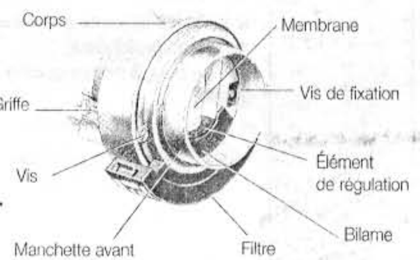


1 groupe ZG
2 Algaine Ø 80
3 bouche Hygro II (Sanitaire)
4 Algaine Ø 125
5 bouche Hygro II (Cuisine)
6 raccord T Ø 125
7 BM Ø 125 à purge
8 bouche d'extraction BAZ
9 refoulement (sortie de toiture gaz)
10 Alflex alu-gaz Ø 150
11 Algaine Ø 80
12 raccord comble W.-C.
13 W.-C. BWC
14 Alflex alu-gaz Ø 125
15 Alflex alu-gaz Ø 120

Les conduits gaz et leur mise en œuvre respectent les exigences du DTU Gaz 61.1 et DTU 68.2.

■ BOUCHE D'EXTRACTION GAZ

De type autoséquentielle gaz, elle permet l'évacuation des gaz brûlés pour des chaudières allant jusqu'à 23 kW.



DOC. ALDES

19 ASSAINISSEMENT

19.1 EAUX À ÉVACUER

CATÉGORIE

Les eaux à évacuer en provenance des bâtiments d'habitation peuvent se classer en 3 catégories :

- les **eaux pluviales (EP)** provenant des précipitations sur les toitures,
- les **eaux vannes (EV)** provenant des WC,
- les **eaux ménagères (EM)** provenant des salles de bains et cuisines.

C'est l'ensemble des eaux usées qu'il faudra traiter.

Les eaux collectées en pied du bâtiment peuvent être évacuées vers :

- un système d'assainissement **autonome**,
- un système d'assainissement **collectif**.

Eaux usées (EU) = Eaux vannes (EV) + Eaux ménagères (EM)

19.2 ASSAINISSEMENT AUTONOME (DTU 64.1)

RÉGLEMENTATION

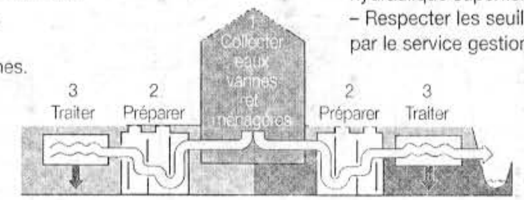
Dans un système d'assainissement autonome, les eaux pluviales peuvent être rejetées directement dans le milieu naturel. La réglementation sanitaire (arrêté 03/03/82, circulaire du 20/08/84 et DTU 64.1) fixe les conditions selon lesquelles l'usager doit, dans un système d'assainissement autonome, traiter les eaux ménagères et les eaux vannes avant rejet dans le milieu naturel. Le choix d'une filière d'assainissement doit se faire après consultation de la DDASS (direction départementale des affaires sanitaires et sociales).

Le projet d'assainissement autonome dépend de :

- la surface disponible,
- la qualité du sol (perméabilité),
- la pente du terrain,
- la présence ou non d'exutoire,
- la proximité d'une nappe phréatique,
- l'emplacement de la construction et du niveau de sortie de l'effluent.

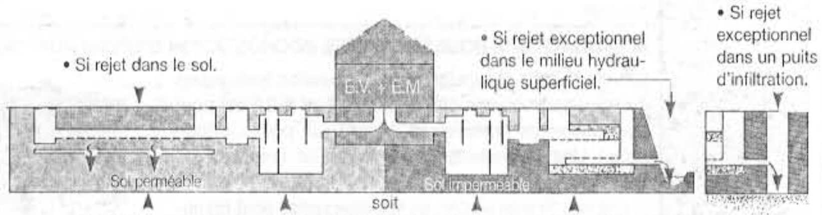
OBJECTIFS DU TRAITEMENT

- Si rejet dans le sol :
  - Assurer la permanence de l'infiltration.
  - Protéger les eaux souterraines.
- Si rejet exceptionnel dans le milieu hydraulique superficiel :
  - Respecter les seuils de qualité exigés par le service gestionnaire de l'eau.



DOC. J.O.

TRAITEMENT COMMUN EV + EM



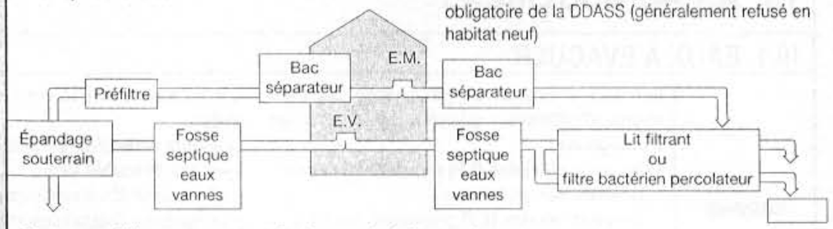
Dispositif assumant épuration et évacuation (Épandage souterrain) + Fosse septique toutes eaux soit installation d'épuration biologique à activées ou supports immergés + Lit filtrant dominé à flux vertical ou flux horizontal (Avis de la DDASS) ou filtre bactérien percolateur

DOC. J.O.

TRAITEMENT SÉPARÉ EV ET EM

• Si rejet dans le sol :

• Si rejet dans le milieu hydraulique : après avis obligatoire de la DDASS (généralement refusé en habitat neuf)



Toutes ces filières comportent 2 niveaux de traitement :
- préparation : liquéfaction de l'effluent,
- traitement : épuration de l'effluent et rejet dans le milieu naturel.

DOC. J.O.

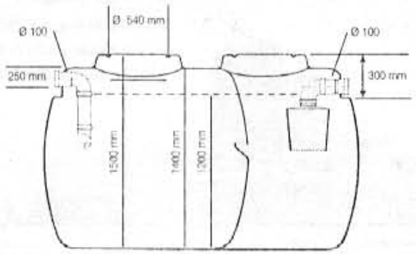
LIQUÉFACTION DE L'EFFLUENT

La préparation de l'effluent avant traitement peut être réalisée de plusieurs manières en fonction du choix de filière d'assainissement effectué :

	Vannes			Ménagères	Vannes + ménagères				Vannes + ménagères	Vannes + ménagères
Buts	Légers Déchets Lourds			Graisses Boues	Recevoir toutes les eaux usées				Agiter	Cultiver
Dispositifs	Fosse septique eaux vannes			Bac séparateur	Fosse septique «toutes eaux»				Épurateur à boues activées	Épurateur à cultures immergées
Volume (m³)	1	1,25	2	H × surface = 200 l	2	2,5	3	0,5	2,5	2,5
Pour	3 p. cuis.	4 p. cuis.	5 p. cuis.	Une cuisine	3 p. cuis.	4 p. cuis.	5 p. cuis.	pièce en +	5 p. cuisine maximum	5 p. cuisine maximum

DOC. J.O.

FOSSES SEPTIQUES TOUTES EAUX (FTE)

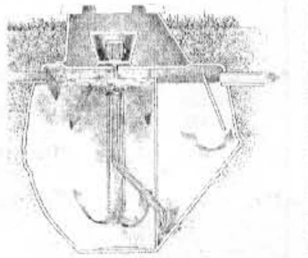


Volume utile (litres)	Diamètre (m)	Longueur (m)	Poids (kg)
2000	1,42	1,66	120
3000	1,42	2,38	160
4000	1,42	3,10	200
5000	1,42	3,82	240

DOC. SOAF

ÉPURATEUR À BOUES ACTIVÉES (MICROSTATION D'ÉPURATION : MSE)

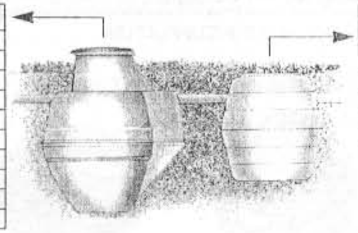
Le volume total des installations d'épuration biologiques à boues activées doit être au moins égal à 2,5 m³ pour des logements comprenant jusqu'à six pièces principales. Une microstation d'épuration se compose de 2 compartiments distincts :
- une cellule d'activation où les eaux usées sont homogénéisées et aérées. Un apport d'oxygène et une agitation mécanique favorisent le traitement bactérien,
- une cellule de clarification qui organise la décantation des boues et leur recyclage.



DOC. SOAF

LIQUÉFACTION DE L'EFFLUENT (suite)

Micro-station (à gauche)	
Capacité total	1560 litres
Volume cellule d'activité	1200 litres
Volume clarificateur	360 litres
Surface clarificateur	0,5 m²
Hauteur	1,88 m
Longueur	1,63 m
Largeur	1,37 m
Puissance du moteur	200 watts
Tension	220 mono
Poids	120 kg



Bac de rétention (à droite)	
Volume	1000 litres
Diamètre	1,20 m
Hauteur	1,28 m
Poids	32 kg

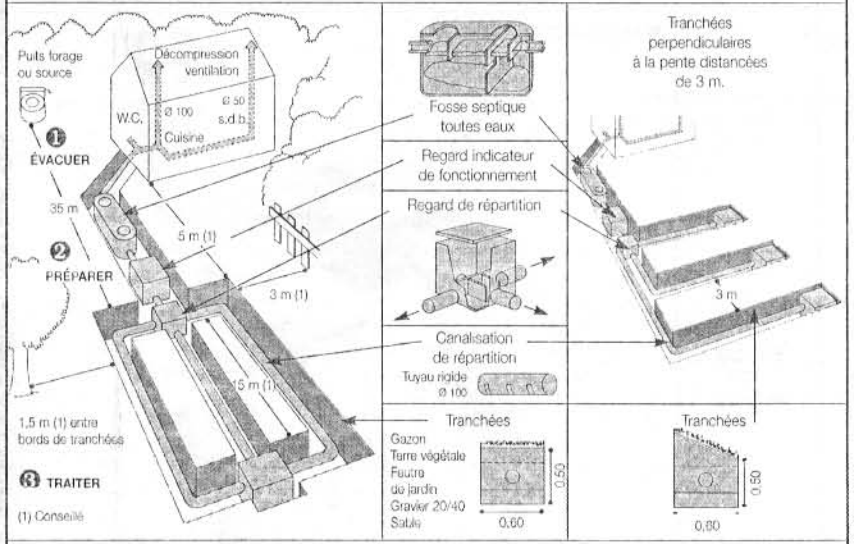
Une armoire électrique étanche, située sous le couvercle de la station assure la protection du moteur, et un combinateur cyclique permet un réglage facile du temps d'oxygénation, en cas de modification prolongée du nombre d'usagers. Ce combinateur commande le moteur électrique de 200 watts qui entraîne la turbine d'aération. Le temps de fonctionnement varie, suivant le nombre d'usagers, de 2 à 4 minutes par cycle de 10 minutes. La consommation électrique est donc très faible (1,5 kwh par jour en moyenne).

DOC. SOAF

ÉPURATION ET ÉVACUATION PAR ÉPANDAGE SOUTERRAIN À FAIBLE PROFONDEUR

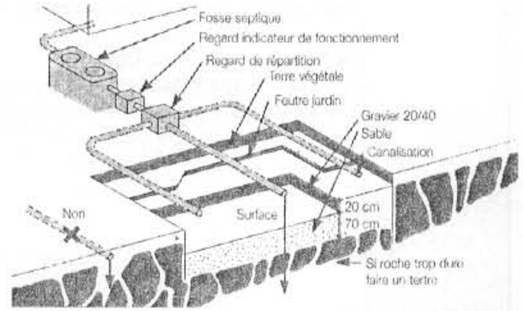
L'épandage souterrain permet une épuration de l'effluent et le rejet dans le milieu naturel.

SOL PERMÉABLE



SOL PAS ASSEZ PERMÉABLE

Par exemple : calcaire fissuré
But : reconstituer un sol capable de filtrer les effluents avant évacuation en profondeur
Surface pour 2 pièces cuisine : 15 m²
et par pièce supplémentaire : 5 m²

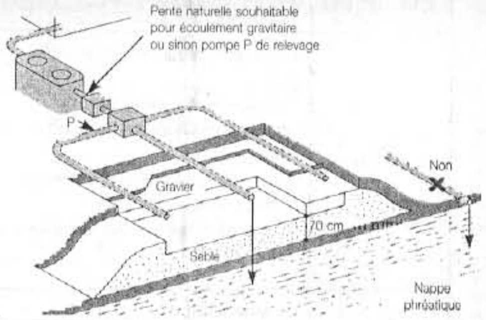


DOC. J.O.

ÉPURATION ET ÉVACUATION PAR ÉPANDAGE SOUTERRAIN À FAIBLE PROFONDEUR (suite)

■ SOL TROP PERMÉABLE

Par exemple : nappe phréatique trop proche
But : filtrer impérativement avant rejet dans la nappe
Surface gravier : dito sol pas assez perméable
Surface sable : 80 à 150 m^2
selon importance de l'habitation, perméabilité, pente, etc.

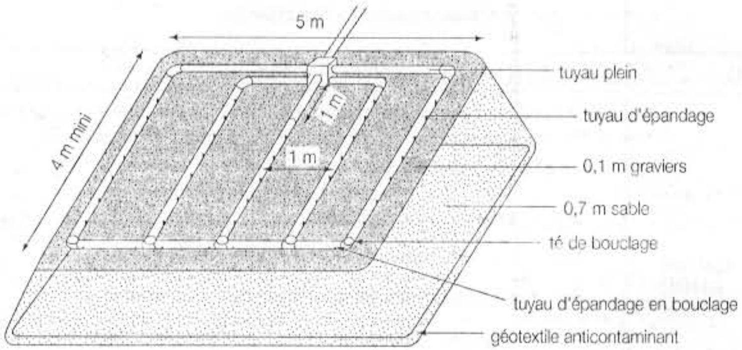


Note : les matériaux à utiliser sont les mêmes que dans le cas d'un sol pas assez perméable.

DOC. J.O.

ÉPURATION ET ÉVACUATION PAR TERTRE FILTRANT

C'est un dispositif adapté au cas :
– où le sol est perméable mais d'épaisseur réellement utilisable insuffisante (moins de 1 m) pour envisager l'épandage souterrain classique à faible profondeur,
– où le sol est perméable sur une grande épaisseur mais où il existe une nappe phréatique trop proche de la surface pendant une partie de l'année au moins.

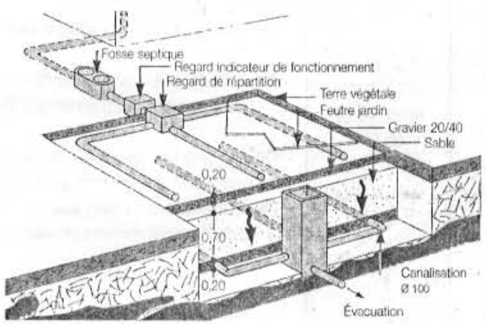


ÉPURATION SEULE PAR FILTRES

Lorsqu'il est impossible de mettre en place un dispositif d'assainissement assurant à la fois l'épuration et l'élimination des eaux usées directement dans le sol, il faut dissocier le traitement des eaux et l'évacuation.
Après épuration, l'évacuation sera réalisée par un rejet dans le milieu hydraulique superficiel ou dans la couche profonde perméable par un puits d'infiltration.

■ LIT FILTRANT DRAINÉ À FLUX VERTICAL (OU FILTRE À SABLE VERTICAL)

Sol imperméable (exemple : roche compacte assez profonde).
But : reconstituer un sol filtrant.
Moyen : filtre à sable vertical entre 2 nappes de canalisations.
Surface pour 2 pièces cuisine : 15 m^2.
Par pièce supplémentaire : 5 m^2.

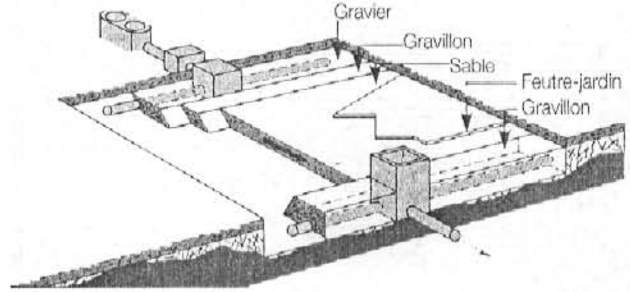


DOC. J.O.

ÉPURATION SEULE PAR FILTRES (suite)

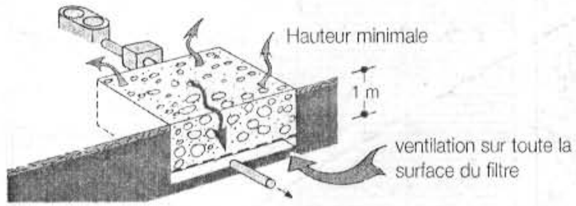
■ LIT FILTRANT DRAINÉ À FLUX HORIZONTAL (OU FILTRE À SABLE HORIZONTAL)

Sol imperméable
(exemple : roche compacte affleurante).
Moyen : filtre à sable horizontal. Canalisations aux 2 extrémités.
Dispositions et sufaces selon autorisation de la DDASS.



■ FILTRE BACTÉRIEN PERCOLATEUR

But : oxyder les matières organiques grâce à une flore aérobie fixée sur des matériaux ventilés.
Moyen : filtre bactérien percolateur.
Volume minimal : 1,6 m^3 pour 5 pièces cuisine plus 0,4 m^3 par pièce supplémentaire.

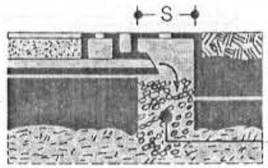


DOC. J.O.

LE PUITS D'INFILTRATION : ÉVACUATION SEULEMENT

Le puits d'infiltration n'épure pas, il ne doit jamais recevoir les eaux sortant directement d'une fosse septique. Son rôle se limite à l'évacuation des eaux épurées dans les couches profondes perméables quand les couches superficielles sont imperméables.
La partie inférieure du puits doit présenter une surface totale de contact (fond et parois latérales) au moins égale à 2 m^2 par pièce principale.

But : Traverser une barrière étanche



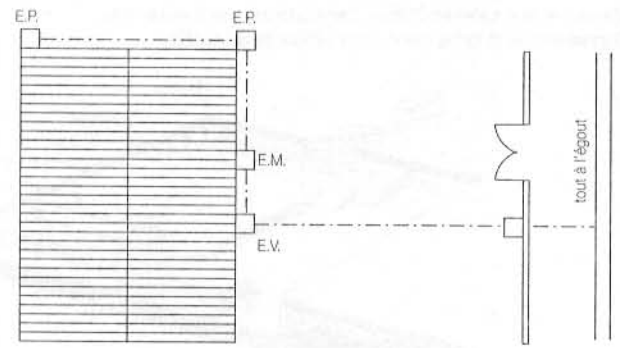
Moyen : Puits d'infiltration
Surface S = 2 m^2 par pièce, cuisine incluse.

DOC. J.O.

19.3 ASSAINISSEMENT COLLECTIF

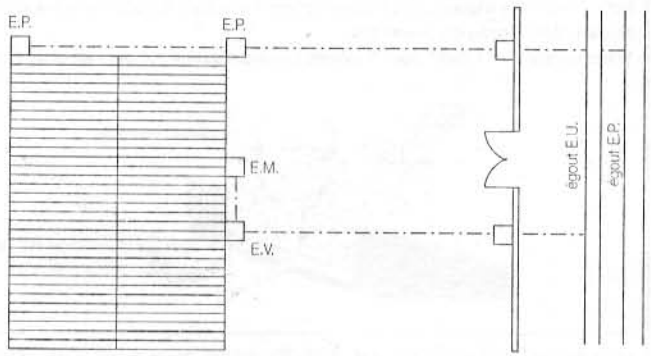
Il existe trois types de réseau d'assainissement urbain :

RÉSEAU UNITAIRE (TOUT À L'ÉGOUT)



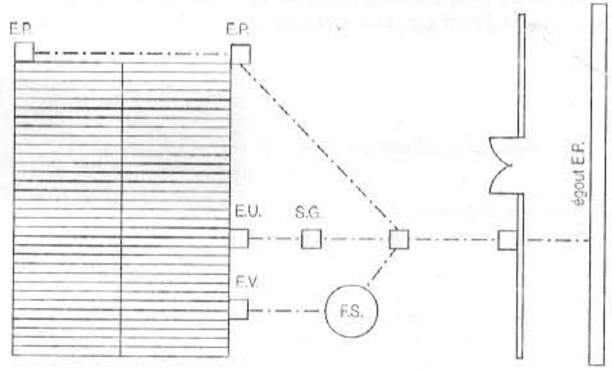
Il s'agit d'un système qui recueille toutes les eaux dans un réseau unique de collecte qui aboutit à une station d'épuration.

RÉSEAU SÉPARATIF



Il comprend un réseau pour les eaux pluviales et un réseau pour les eaux usées. Les eaux pluviales n'ayant pas besoin de subir de traitement, ce système limite l'importance des stations d'épuration.

RÉSEAU PLUVIAL



En l'absence de station d'épuration, un seul réseau collecte toutes les eaux, ce qui implique le traitement autonome des eaux usées avant rejet dans l'égout.

S.G. séparateur à graisse
F.S. fosse septique

20 PRÉVENTION INCENDIE

OBJET

Dans une construction, la prévention incendie vise :

1. à assurer la sécurité
- des personnes résidentes directement menacées,
- du public extérieur soumis à un risque direct,
- des sapeurs-pompiers ;

2. à éviter les pertes en biens (meubles et immeubles).

La prévention regroupe l'ensemble des mesures propres à :
- éviter la naissance du feu,
- limiter les effets de l'incendie.

Deux techniques sont utilisées :
- **passive** : matériaux incombustibles, murs coupe-feu...
- **active** : détection, extincteurs, service d'incendie...

DOCUMENTS CONCERNÉS

Journal Officiel
- n° 1011 : Règlement de 1965.
- n° 1477 : Dispositions générales et particulières.
- n° 1536 : Pour immeubles de grande hauteur.
- n° 1540 et n° 1603 : Textes, comportement au feu et classifications.
- n° 5655 : Installations de détection incendie.

Normes

NF P 92-501 à 512.

Document technique unifié (DTU)
- P 92-701 (règles FB) Comportement au feu des structures en béton.
- P 92-702 (règles FA).
- P 92-703 (Bois, feu 88).

20.1 CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX

RÉACTION AU FEU

Cette notion de réaction au feu caractérise le fait que le matériau apporte plus ou moins d'aliment au feu (dégagement de chaleur, production de gaz combustible...).

Un classement a été établi :

M0	Matériau incombustible
M1	Matériau combustible « non inflammable »
M2	Matériau combustible « difficilement inflammable »
M3	Matériau combustible « moyennement inflammable »
M4	Matériau combustible « facilement inflammable »
M5	Matériau combustible « très facilement inflammable »

RÉSISTANCE AU FEU

Cette notion de résistance au feu caractérise la durée pendant laquelle les éléments de construction peuvent, en cas d'incendie, assurer le rôle porteur ou isolant qui leur est dévolu. Ils sont classés en trois catégories :

- **Stables au feu :** s'ils offrent une résistance mécanique au feu satisfaisante.

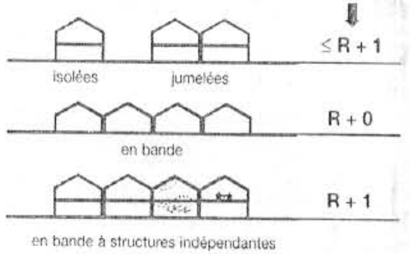
- **Pare-flammes :** s'ils offrent une résistance mécanique ainsi qu'une étanchéité aux flammes satisfaisantes et s'ils n'émettent pas de gaz inflammables.

- **Coupe-feu :** si, en plus des qualités précédentes, le matériau présente une isolation thermique telle que pour la face non exposée au feu :
- l'échauffement moyen soit inférieur à 140° C ;
- l'échauffement maximum soit inférieur à 180° C.

20.2 CLASSEMENT DES BÂTIMENTS D'HABITATION

1° FAMILLE

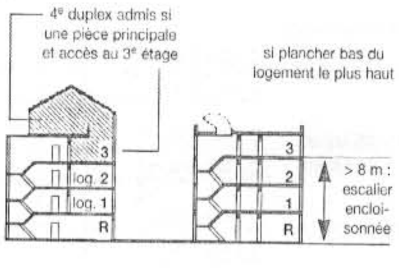
HABITATIONS INDIVIDUELLES



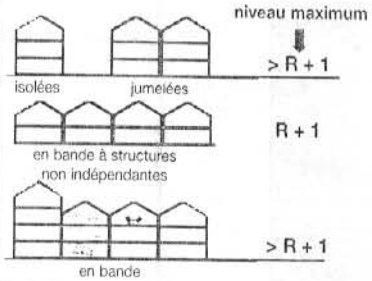
DOC. J.O.

2° FAMILLE

HABITATIONS COLLECTIVES

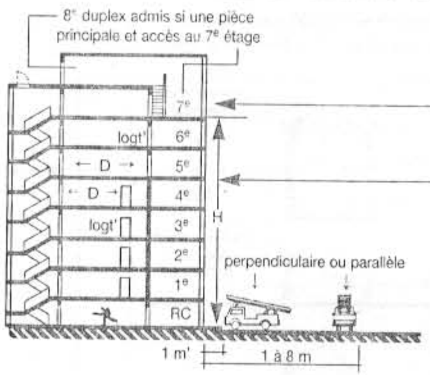


HABITATIONS INDIVIDUELLES



DOC. J.O.

3° FAMILLE A

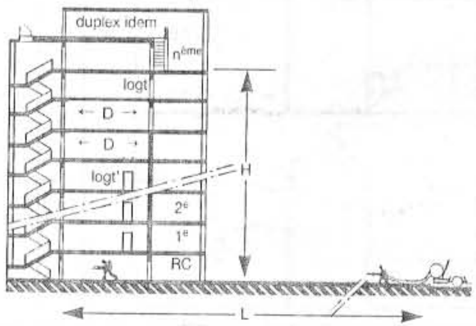


H ≤ 28 mètres
+
3 conditions

- > R + 7 maxi
- D ≤ 7 m
- accès escalier atteint par voie échelle

DOC. J.O.

3° FAMILLE B



H ≤ 28 mètres
+
Une seule des conditions ci-dessus non satisfaite :

- > R + 7

ou

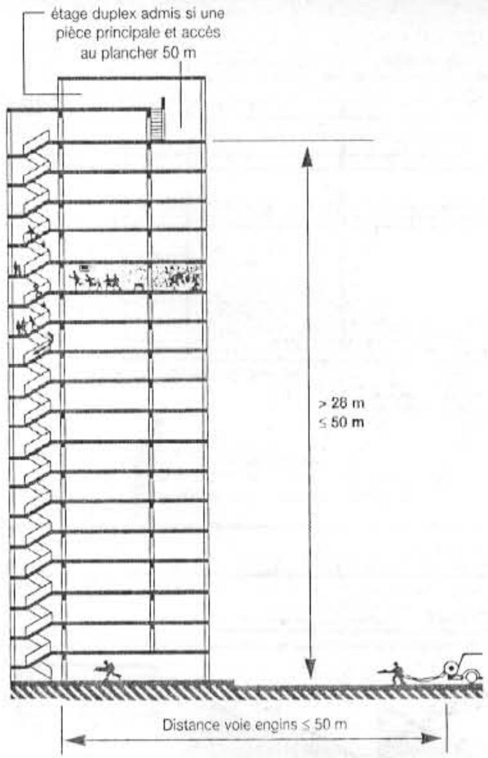
- D > 7 m

ou

- accès escalier non atteint par voie échelle

DOC. J.O.

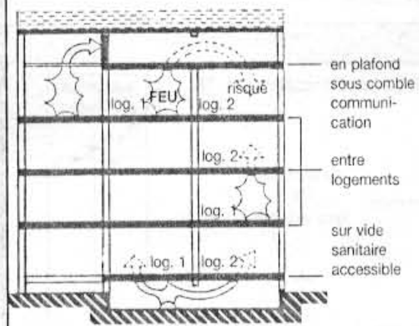
4° FAMILLE



DOC. J.O.

20.3 STRUCTURE

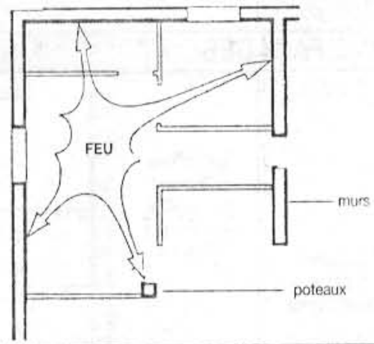
PLANCHERS



Famille d'habitations			Stables au feu SF
individuelles	1		1/4 h
	2		1/2 h
			1/2 h
collectives	3	A	1 h
		B	1 h
	4		1 h 1/2

PORTEURS VERTICAUX

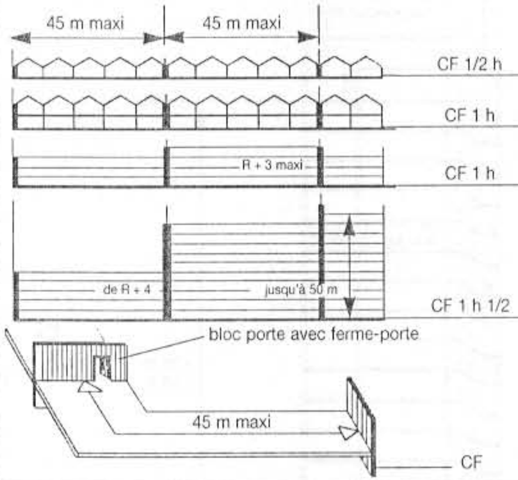
y compris leurs contreventements



Famille d'habitations			Coupe feu CF
individuelles	1		1/4 h
	2		1/2 h
			1/2 h
collectives	3	A	1 h
		B	1 h
	4		1 h 1/2

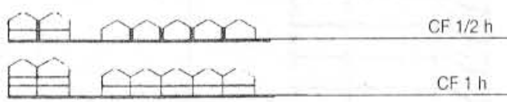
DOC. J.O

20.4 RECOUPEMENTS VERTICAUX

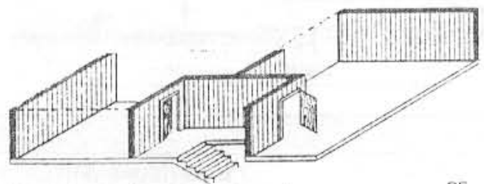


		Habitations individuelles 1	Habitations individuelles 2	Habitations collectives 2	Habitations collectives 3 A	Habitations collectives 3 B	Habitations collectives 4
BÂTIMENTS DE GRANDE LONGUEUR	CF 1/2 h	●					
	CF 1 h		●				
	CF 1 h			●			
	CF 1 h 1/2				●	●	●
	CF	1/4 h	1/2 h	1/2 h	1 h	1 h	1 h 1/2

DOC. J.O.



		1	2 (indiv.)	2 (coll.)	3 A	3 B	4
PAROIS SÉPARATIVES DES HABITATIONS INDIVIDUELLES	CF 1/2 h	●					
	CF 1 h		●				

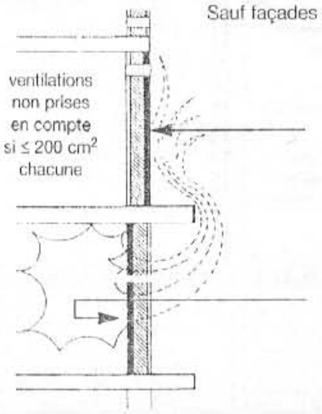


		1	2 (indiv.)	2 (coll.)	3 A	3 B	4
PAROIS ENVELOPPE DES LOGEMENTS	à l'exclusion des façades, parois enveloppe — CF			1/2 h	1/2 h	1/2 h	1 h
	blocs portes palières — PF			1/4 h	1/4 h	1/4 h	1/2 h

DOC. J.O.

20.5 FAÇADES

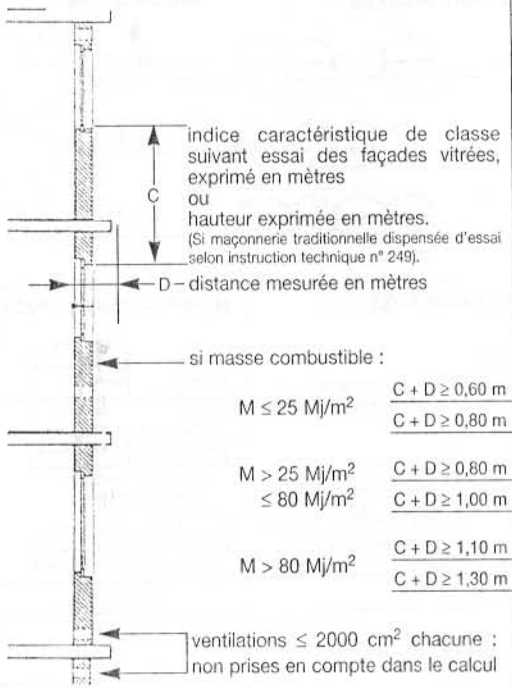
Sauf façades d'escaliers (art. 18)



		habitations individuelles 1	2 (indiv.)	habitations collectives 2	3 A	3 B	4
FAÇADES SANS OUVERTURES	≥ 60 minutes				●	●	●

DOC. J.O.

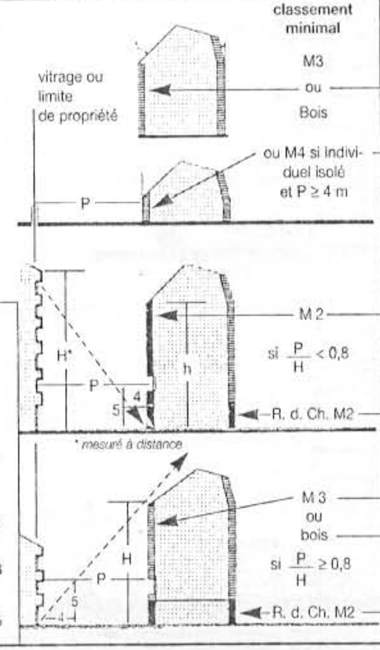
Sauf façades d'escaliers (art. 18)



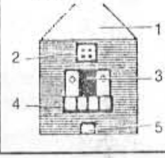
FAÇADES AVEC OUVERTURES		habitations individuelles 1	2 (indiv.)	habitations collectives 2	3 A	3 B	4
$M \leq 25$ Mj/m²	C + D ≥ 0,60 m				●		
	C + D ≥ 0,80 m					●	●
$M > 25$ Mj/m² ≤ 80 Mj/m²	C + D ≥ 0,80 m				●		
	C + D ≥ 1,00 m					●	●
$M > 80$ Mj/m²	C + D ≥ 1,10 m				●		
	C + D ≥ 1,30 m					●	●

DOC. J.O.

REVÊTEMENTS DE FAÇADES



Exceptions
1. inclinées ≥ 30° (art. 15 c)
2. menuiseries
3. fermetures
4. remplissages de garde-corps
5. coffrets de branchements



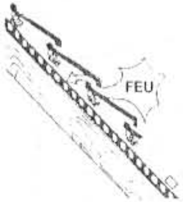
classement minimal	1	2 (indiv.)	2 (coll.)	3 A	3 B	4
M3 ou Bois	●	●	●			
ou M4 si individuel isolé et P ≥ 4 m	●					
M 2 (si $\frac{P}{H} < 0,8$)				●	●	●
R. d. Ch. M2				●	●	●
M 3 (si $\frac{P}{H} \geq 0,8$)				●	●	●
ou bois (si $\frac{P}{H} \geq 0,8$)				●		
R. d. Ch. M2				●	●	●

DOC. J.O.

20.6 COUVERTURES

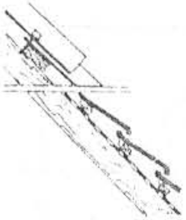
CLASSEMENTS ET INDICES

■ **COUVERTURE M4**
Classe de pénétration T



Revêtement de couverture classé M1, M2, M3 sur **support continu** en :
- matériaux incombustibles
- panneaux de bois
- aggloméré de fibres de bois
- matériau reconnu équivalent par le CECMI

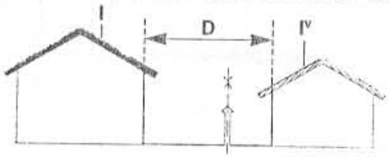
= utilisation sans restriction



Revêtement de couverture classé M4 ou classé M1, M2, M3 sur **support différent de ci-dessus**

T minimale exigée :

Indice de propagation I
Pour définir **I** prendre **D** et **I**ᵛ de l'immeuble voisin



ou prendre **D** et **I**ᵛ = 1 si la parcelle voisine n'est pas construite.

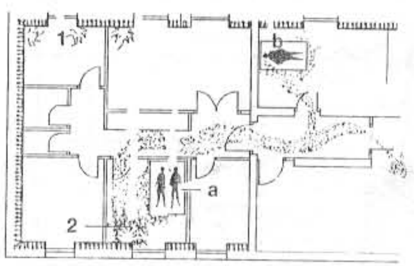


	habitations individuelles		habitations collectives			
	1	2	2	3 A	3 B	4
Revêtement M1, M2, M3 sur support continu = utilisation sans restriction	●	●	●	●	●	●
T minimale exigée	5	15	15	30	30	30
si **D** < 4 mètres : **I** = 2 – **I**ᵛ	●	●	●	●	●	●
si **D** entre 4 et 8 m : **I** = 3 – **I**ᵛ	●	●	●	●	●	●
si **D** entre 8 et 12 m : **I** = 4 – **I**ᵛ	●	●	●	●	●	●
si **D** > 12 mètres : **I** = non imposé	●	●	●	●	●	●

DOC. J.O.

20.7 ISOLATION INTÉRIEURE

CONFORMITÉS



Pour ne pas :
1. Accélérer l'embrasement du local
2. Émettre des gaz toxiques :
- a. pour les occupants du logement
- b. pour les occupants d'autres logements

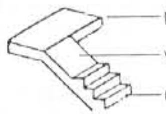
LES MATÉRIAUX D'ISOLATION DOIVENT ÊTRE CONFORMES AUX INDICATIONS DU :

"Guide de l'isolation
par l'intérieur des batiments d'habitation du point de vue des risques en cas d'incendie,"
Cahier n° 1624,
C.S.T.B.

DOC. J.O.

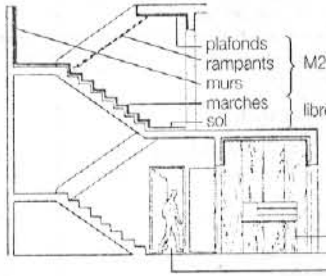
20.8 ESCALIERS

STRUCTURE DES ESCALIERS



DOC. J.O.

REVÊTEMENTS DES ESCALIERS



DOC. J.O.

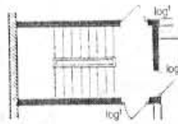
PAROIS EN FAÇADE

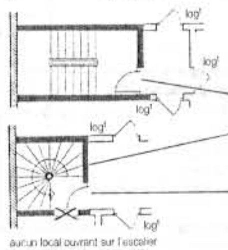


si partie de paroi (baie ou fenêtre) non PF 1/2 h

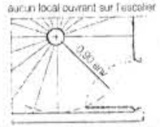
DOC. J.O.

PAROIS DES ESCALIERS NON SITUÉS EN FAÇADE





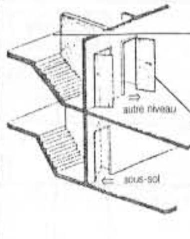
si plancher bas du logement le plus haut à plus de 8 m du sol :



DOC. J.O.

	habitations individuelles		habitations collectives			
	1	2	2	3 A	3 B	4
paliers, volées, marches : matériaux incombustibles				●	●	●
plafonds, rampants, murs : M2			●			
marches, sol : libre			●			
bois autorisé si sortie directe sur l'extérieur			●			
parois en façade : PF 1/2 h			●	●	●	●
parois : CF 1/2 h			●			
porte			●			
parois : CF 1 h sauf imposte				●	●	●
et oculus : PF 1 h				●	●	●
bloc-porte : PF 1/2 h avec ferme porte				●	●	●
passage 0,90 environ				●	●	●

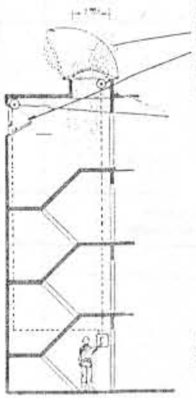
ESCALIER DES SOUS-SOL



	habitations individuelles 1	2	habitations collectives 3 A	3 B	4
pas de communication avec l'escalier et les étages		●	●	●	●
entre sous-sol et reste du bâtiment au moins un bloc porte CF 1/2 h • avec ferme-porte • ouvrant vers la sortie		●	●	●	●

DOC. J.O.

DÉSENFUMAGE DES ESCALIERS



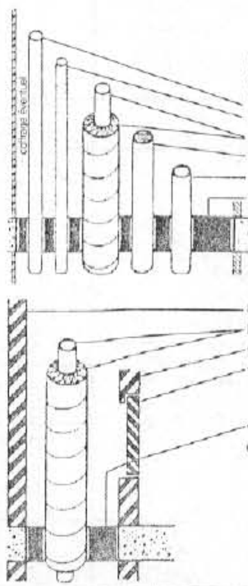
	habitations individuelles 1	2	habitations collectives 3 A	3 B	4
Dispositif : lanterneau ou chassis haut • fermé en temps normal • ouvrable par :		●	●		
– détecteur autonome déclencheur			●		
– commande mécanique ou		●			
– commande : • électrique • pneumatique • hydraulique • électromagnétique • électro-pneumatique *(instr. tech. n°247 Min. Int.)*		●	●		

commande située au rez de chaussée réservée aux : • service de secours
• personnes habilitées

DOC. J.O.

20.9 GAINES ET CONDUITS

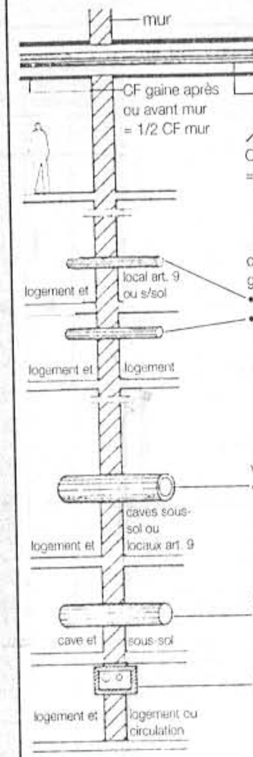
CONDUITS TRAVERSANT DES PLANCHERS



	habitations individuelles 1	2	habitations collectives 3 A	3 B	4
Gaine non exigée et coffrage éventuel autorisé pour conduits Ø ≤ 125 mm si : • matériau incombustible • PVC M1 renforcé • M1 conduit et calorifugeage • M4 si eau permanente • M1 si eau intermittente • Rebouchement mat. incombustible		●	●	●	●
Gaine coupe feu exigée si : M2 à M4 (sauf exceptions art. 49) • parois CF 1/2 h • portes et trappes • ≤ 0,25 m² = CF 1/4 h • > 0,25 m² = CF 1/2 h		●	●	●	●
• recoupement matériaux incombustibles obligatoire : • P.H. s/sol et loch. tech.		●	●	●	●
• tous les 2 niveaux au moins					●

DOC. J.O.

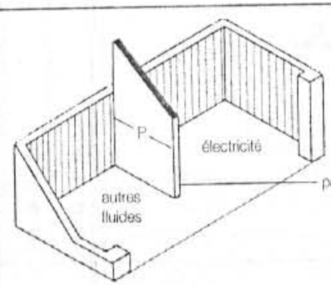
CONDUITS TRAVERSANT DES MURS



	habitations individuelles 1	2	habitations collectives 3 A	3 B	4
gaine exigée si conduits M2 à M4 ou M1 Ø ≥ 125 mm		●	●	●	●
CF aération gaine = CF Gaine		●	●	●	●
conduits autorisés hors gaine si : • incombustibles		●	●	●	●
• incombustibles ou M1 pour Ø ≤ 125 mm		●	●	●	●
ventilation logements • CF conduit avant ou après = 1/2 CF mur		●	●	●	●
conduits autres que aération et ventilation • M1 au moins si Ø > 125 mm		●	●	●	●
gaines conservant les performances de la paroi séparative		●	●	●	●

DOC. J.O.

GAINE ÉLECTRIQUE MIXTE

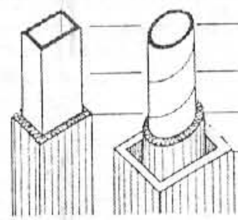


	habitations individuelles 1	2	habitations collectives 3 A	3 B	4
paroi P.F. 1/4 h : • matériau incombustible (plaque plâtre cartonné autorisée) • P = 30 cm minimum (séparation partielle admise si gaine très profonde)		●	●	●	●

DOC. J.O.

VENTILATION NATURELLE ET MÉCANIQUE CONTRÔLÉE (V.M.C)

	habitations individuelles 1	2	habitations collectives 3 A	3 B	4
Éviter transmission ou refoulement des fumées depuis un local en feu		●	●	●	●
Conditions générales (art. 59) : • matériau incombustible		●	●	●	●
conduit + calorifugeage + gaine } • CF h		1/4	1/2	1/2	1



DOC. J.O.

21 PEINTURES ET REVÊTEMENTS

21.1 PEINTURES (DTU 59.1)

Une peinture est une préparation plus ou moins fluide à base de liant, pigments et solvants, à étaler sur toutes sortes de matériaux. Le produit sèche puis forme après durcissement un film coloré et opaque, à la fois protecteur et décoratif.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Chaque peinture est déterminée par son liant : glycérophtalique, acrylique ou vinylique.
- Les pigments donnent la couleur, le corps et l'opacité de la peinture.
- Le solvant détermine la viscosité, donc l'étalement de la peinture. En séchant, le solvant s'évapore et laisse le film de peinture sec.
- Les siccatifs permettent un séchage plus rapide de la peinture à l'huile.
- Certaines peintures sont composées en fonction d'utilisations spécifiques : antirouille, sous-couche pour bois, crépis intérieurs...
- Certaines peintures contenant des cristaux possèdent une triple efficacité : contre les insectes, les moisissures et les acariens.

CLASSEMENT

Les peintures sont classées en quatre groupes suivant la nature de leurs composants.

- **Groupe 1 :** les peintures à solvant et siccatif (glycérophtalique ou alkydes)
- **Groupe 2 :** les peintures à l'eau (acryliques, vinyliques, méthacryliques...)
- **Groupe 3 :** les peintures sans solvant ni eau. Leurs deux composants sont malaxés de façon homogène avec un durcisseur (résines époxydiques et polyuréthane)
- **Groupe 4 :** les peintures à base de ciment (pour piscines).

CHOIX

■ LE CHOIX D'UNE PEINTURE DÉPEND :

- **du support :** métal, bois, enduit de mortier de ciment, plâtre...
- **de la destination :** support ancien ou neuf
- **des qualités requises :** anticorrosion, imperméabilisation, anti-acide...
- **de la couleur.**
- **de l'aspect souhaité :** mat, satiné, brillant, « à relief »
- **de l'environnement :** rural, urbain, maritime.
- **du climat :** humidité, chaleur...
- **de la situation :** travaux intérieurs ou travaux extérieurs.

■ DESTINATION DES PRINCIPALES PEINTURES

Acrylique. Émulsion à l'eau, sans odeur, sèche rapidement (2 couches si nécessaire dans la même journée, sauf aspect brillant), facile à utiliser, nettoyage du matériel à l'eau).

Glycérophtalique. Résistance exceptionnelle à l'usure, aux lessivage et intempéries, nettoyage au White Spirit. Satine : microporeux, laisse respirer le support (ex. : bois).

Laque antirouille. Protège de la corrosion et décore tous les métaux ferreux, s'applique directement sans sous-couche, également sur bois.

Peinture pour sols. Pour tous sols extérieurs (en brique, béton, carrelage, parquets) très résistante à l'usure, abrasion, détergents.

Peinture pliolite. Hyfrofuge, imperméable et microporeuse.

Acrylique façade. Microporeuse : laisse respirer le support mais ne laisse pas passer l'humidité, imperméable aux eaux de ruissellement.

		Acrylique			Glycéro-phtalique		Laque antirouille	Peinture pour sols	Peinture pliolite	Acrylique façade
		M	S	B	B	S	B			
INTÉRIEUR	Plafonds	■	■	■	■	■				
INTÉRIEUR	Pièces sèches	■	■	■	■	■				
INTÉRIEUR	Pièces humides			■	■	■				
INTÉRIEUR	Boiseries intérieures	■	■	■	■	■				
EXTÉRIEUR	Sols							■		
EXTÉRIEUR	Boiseries extérieures			■	■	■				
EXTÉRIEUR	Fers et métaux			■	■	■	■			
EXTÉRIEUR	Façades								■	■

B : brillant
M : mat
S : satiné

PEINTURES POUR TRAITEMENT DES FAÇADES

FONCTIONS	APTITUDES
Maintien de l'aspect	Permet de maintenir l'aspect d'origine du parement, peut améliorer temporairement le comportement à l'eau et aux salissures.
Décoration	Permet d'agrémenter une façade en jouant plus ou moins sur l'aspect : couleur, brillance, granulométrie.
Protection des supports faïencés	Permet de protéger et masquer les supports faïencés et contribue à limiter la pénétration des eaux de ruissellement.
Hydrofugation	Permet de diminuer notablement la porosité et la capillarité d'un support peu dense.
Protection contre la diffusion gazeuse du CO2 et SO2	Permet d'éviter la carbonatation des bétons (laquelle engendre la corrosion des armatures) ainsi que la sulfatation des pierres.

CLASSES DE REVÊTEMENTS	
Classe D1	Revêtement permettant de maintenir l'aspect d'origine du parement de la façade ou de lui donner un aspect peu différent.
Classe D2	Revêtement ayant une finition décorative (NF T 30-804)
Classe D3	Revêtement apportant une protection superficielle de nature à masquer le faïençage des supports

En plus du DTU 59.1, ces peintures doivent être conformes aux normes NF T 30-804, T 34-720, T 36-005, P 84-501 à 403.

21.2 PRODUITS DE PROTECTION ET DE DÉCORATION DU BOIS

DÉFINITIONS

- **Fonctions**

Ces produits ont pour fonction :

- de modifier éventuellement l'aspect du bois,
- de le protéger contre les dégradations dues aux agents atmosphériques (précipitations, rayonnement U.V.),
- de renforcer la protection de surface par l'action d'agents insecticides et fongicides.

- **Normes**

Ils doivent répondre aux normes suivantes :

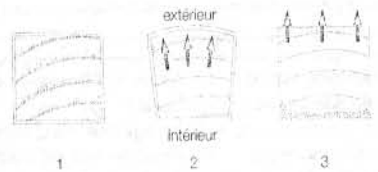
- T 72-081
- T 72-086
- NF T 72-083
- NF T 72-084
- T 30-806.

LASURES

Ce sont des produits transparents, pigmentés ou non qui permettent d'exécuter facilement les travaux d'entretien (préparation des supports simplifiée). Elles offrent de plus :

- une protection contre le bleuissement,
- une protection contre les agressions climatiques (lasures extérieures).

Contrairement aux peintures qui forment un film étanche, les lasures ont pour qualité de rendre la surface du bois hydrophobe (ne laissant pas pénétrer l'eau) sans empêcher les échanges de vapeur d'eau indispensables. L'équilibre s'établit entre l'humidité du bois et l'hygrométrie de l'air où il se trouve.



1. Pièce de bois peinte, avant que le bois n'ait encore subi de variations de température.
2. La vapeur d'eau migre vers la partie la plus froide, le bois se gonfle sous l'effet du déplacement de l'eau.
3. Une lasure laisse passer la vapeur d'eau, empêche l'eau libre de pénétrer dans le bois, et évite les dégradations d'ordre biologique.

DOC GEDIMAT

VERNIS

Ce sont des produits formant un film épais et transparent. Suivant leur formule ils sont destinés à des usages extérieurs ou intérieurs.

Les vernis, en particulier en usages extérieurs, s'écaillent sous l'effet des radiations solaires et de la dégradation de la surface du bois. Leur rénovation nécessite une préparation soignée du support par ponçage ou décapage.

PEINTURES MICRO-POREUSES

Elles forment un film épais, opaque et microporeux, qui permet les échanges d'humidité sous forme de vapeur.
Ces peintures doivent posséder des qualités suffisantes de thermo-plasticité pour pouvoir suivre les variations dimensionnelles du bois. Ces produits se détériorent dans le temps par farinage et non cloquage comme les peintures traditionnelles.

21.3 PRINCIPAUX ENDUITS

À BASE DE PLÂTRE

Ces ouvrages doivent répondre aux exigences du DTU 25.1.

Produits utilisés	Emploi
Plâtre fin de construction (PFC)	Enduit une couche
Plâtre gros de construction (PGC)	Couche d'accrochage d'un enduit à 2 couches, 2e couche en PFC
Plâtre très haute dureté (THD)	Locaux exposés aux chocs (halls, vestiaires de gymnase...)

- **Nature des supports :** maçonnerie (briques, blocs de béton...)
- **Épaisseur théorique des enduits finis :** 8 à 12 mm.
- **Verticalité :** tolérance d 5 mm sur 2,50 m.
- **Planéité de l'enduit :** tolérance locale, écart maxi de 1 mm sous règle de 0,20 m. tolérance générale, écart maxi de 5 mm sous règle de 2 m.

À BASE DE MORTIER DE LIANTS HYDRAULIQUES

Ces ouvrages doivent répondre aux exigences du DTU 26.1.

Liants normalisés utilisés :
- ciments Portland CPA et CPJ
- chaux hydraulique artificielle XHA
- chaux hydraulique naturelle XHN
- chaux aériennes éteintes CAEB

Deux grandes familles d'enduits :
- les enduits de mortier de ciment :
CPA ou CPJ + sable 0/5 en général + eau
- les enduits de mortier bâtard :
CPA ou CPJ (1/3 à 2/3) + chaux (2/3 à 1/3) + sable 0/5 + eau

Application manuelle : **enduit 3 couches**

1re couche	Couche d'accrochage ou gobetis. Épaisseur 3 à 5 mm.
2e couche	Corps de l'enduit, assure la planéité et l'essentiel de la fonction imperméabilisation. Épaisseur 10 à 15 mm.
3e couche	Couche de finition, rôle décoratif + protection de l'enduit. Épaisseur 3 à 5 mm.

Application mécanique : **enduit 2 couches**

1re couche	Épaisseur 10 à 15 mm, réglée mais non talochée. Fonction adhérence au support + imperméabilisation + rattrapage des irrégularités du support.
2e couche	Épaisseur 3 à 5 mm, finition + imperméabilisation complète

REVÊTEMENTS PLASTIQUES ÉPAIS (RPE)

Ce sont des produits prêts à l'emploi, constitués principalement par un mélange de liant synthétique, d'agrégats (quartz, marbre...) et de charges minérales inertes avec ou sans pigments. Ils sont destinés à être appliqués à l'extérieur sur des supports stables et rigides à base de liants hydrauliques (ciments et chaux).

La nature et l'épaisseur des RPE leur permet d'assurer :
- une fonction décorative,
- une protection du support,
- un complément d'imperméabilisation des enduits,
- un masquage du faïençage des enduits à base de liants hydrauliques.

ENDUITS D'IMPERMÉABILISATION

Ces enduits, communément dénommés « monocouche » sont des produits dont l'emploi est maintenant généralisé. Ils se présentent sous la forme de produits prêts à gâcher, le plus souvent teintés dans la masse.
Après gâchage, le mortier ainsi obtenu est mis en œuvre à l'aide d'une pompe à mortier, généralement en deux passes sans délais d'attente.
Il existe plusieurs types de finition : rustique, écrasée, grattée, etc.
Ces enduits relèvent de la procédure de l'avis technique et du certificat de marquage du CSTB.

21.4 REVÊTEMENTS DE SOLS

CARREAUX CÉRAMIQUES

CLASSEMENT EN DEUX GRANDES FAMILLES

- **Produits poreux :**

les carreaux de terre cuite
Ils sont réalisés par filage, à partir d'argile naturelle cuite à haute température. Leur dureté dépend du degré de cuisson, ils sont plutôt destinés aux locaux où la circulation est faible. Brutes, émaillées ou vernies, les terres cuites doivent recevoir régulièrement un traitement de surface qui facilite l'entretien et préserve leur aspect d'origine. En plus des formes carrées et rectangulaires, ils sont disponibles dans des formes très variées : tomette hexagonale, trèfle, etc.

- **Produits vitrifiés :**

les carreaux de grès
Ils se divisent en plusieurs sous-ensembles : grès cérame, grès étiré, grès émaillé, etc. Ils sont en général non gélifs, imperméables et ne nécessitent qu'un entretien réduit. Ils s'emploient aussi bien en intérieur qu'en extérieur. Les formes carrées ou rectangulaires sont de loin les plus courantes.
Tous ces produits doivent répondre aux exigences du DTU 52.1 et doivent faire l'objet d'une procédure de certification NF – classement UPEC.

CLASSEMENT UPEC

- Signification

Le classement UPEC est fondé sur quatre critères symbolisés par les quatre lettres qui désignent :

- **U** l'**U**sure due aux effets de la marche
- **P** le **P**oinçonnement dû au mobilier fixe ou mobile
- **E** le comportement à l'égard de l'**E**au
- **C** la résistance aux agents **C**himiques.

Un indice suit chaque lettre, plus l'indice est élevé, meilleures sont les performances.
C'est un classement de durabilité qui caractérise à la fois les exigences relatives à un ouvrage de revêtement de sol et les performances des matériaux utilisés.

- Tableau de correspondance

U1	Locaux privatifs, trafic faible
U2	Locaux privatifs, trafic normal
U2S	Locaux privatifs, trafic intense ou usage collectif trafic faible,
U3	Locaux collectifs, trafic normal
U4	Locaux collectifs, trafic intense
P1	Trafic pédestre et mobilier fixe
P2	Possibilité de mobilier mobile en usage normal
P3	Aucune restriction sur trafic et mobilier
E0	Locaux secs et d'entretien par voie sèche
E1	Locaux secs et entretien occasionnel par voie humide
E2	Locaux humides ou entretien courant par voie humide
E3	Locaux constamment humides ou entretien à grande eau
C0	Utilisation exceptionnelle de produits ménagers
C1	Projection occasionnelle de produits ménagers
C2	Utilisation courante de produits ménagers
C3	Utilisation courante de produits particuliers

CARREAUX CÉRAMIQUES (suite)

MISE EN ŒUVRE DES CARREAUX

• Pose scellée

C'est la méthode traditionnelle que l'on réalise avec un mortier à base de liant hydraulique préparé, étalé, tiré à la règle, compacté et taloché. L'épaisseur de la chape ainsi réalisée varie de 3 à 5 cm. Les carreaux sont posés et calés en vérifiant le nivellement.

• Pose collée

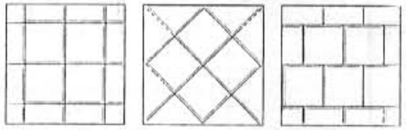
Sur une chape déjà dressée, les carreaux sont collés avec un mortier-colle (produit pulvérulent prédosé en usine à mélanger avec de l'eau sur chantier) ou une colle prête à l'emploi. On utilise pour cela une spatule crantée avec laquelle on étale le produit sur une épaisseur variant de 1 à 5 mm.

• Traitement des joints

Dans tous les cas, les joints entre carreaux (3 à 8 mm de largeur environ) sont remplis d'un coulis de mortier de ciment 24 ou 48 heures après la pose du carrelage. Le nettoyage de l'ensemble s'effectuant au moyen d'acide chlorhydrique dilué (souvent appelé esprit de sel).

DESTINATION DES MATÉRIAUX ET PRINCIPAUX APPAREILLAGES

Destination	Utilisation	
	Murs	Sols
Salle de bains, WC	Faïence	Grès émaillé
Cuisine	Faïence Grès émaillé	Grès émaillé - Grès cérame - Grès étiré - Terre cuite
Toutes pièces d'habitation	Grès émaillé	Grès émaillé - Marbres Grès cérame - Grès étiré Terre cuite
Garage		Grès cérame
Balcon		Grès émaillé (si ingélif)
Terrasse		Grès cérame - Grès étiré Terre cuite (si non traité) Marbres
Lieux publics		Grès cérame (en intérieur et extérieur)



Pose médiane — Pose diagonale — Pose à joints coupés

DOC. GEDIMAT

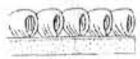
REVÊTEMENTS TEXTILES

NORMES ET TYPES

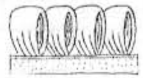
Les moquettes en fibres naturelles ou synthétiques doivent répondre aux prescriptions des textes suivants : DTU 53.1, NF G 35, classement UPEC, avis technique du CSTB ou certificat d'homologation de l'institut technique des revêtements (ITR).
Les moquettes bénéficient en général d'un classement au feu M3 ou M4.
Elles se présentent sous forme de lés de différentes largeurs ou de dalles.

Suivant leur mode de fabrication, on distingue :
- les moquettes tissées,
- les moquettes floquées (aspect velours ras) fabriquées par projection de fibres sur un support adhésif,
- les moquettes touffetées (ou tuftées), fibres piquées au travers d'un canevas,
- les moquettes aiguilletées composées de plusieurs couches de fibres enchevêtrées.

La sous-face d'une moquette (ou dossier) doit être adaptée au mode de pose et aux exigences de résistance. En jute ou fibre synthétique pour une pose tendue, en mousse ou latex pour une pose collée.



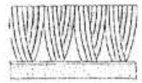
Mèches courtes (bouclé)



Mèches longues (berbère)



Mèches courtes (velours)



Mèches longues (shag)

MISE EN ŒUVRE

- Pose tendue : agrafage ou clouage de la moquette en périphérie de la pièce à revêtir après tension, il est préférable d'interposer une thibaude (sous-couche en jute généralement) entre le support et la moquette pour une meilleure longévité de l'ouvrage.
- Pose collée : mêmes spécifications que pour les sols plastiques.

DOC. GEDIMAT

REVÊTEMENTS PLASTIQUES

CONDITIONNEMENT ET CLASSEMENT

Conditionnés sous forme de dalles ou rouleaux (lés), ils doivent répondre aux exigences du DTU 53.2, du classement UPEC et relever de la procédure de l'avis technique.
Le classement au feu de ce type de produit est en général M2 ou M3.
Quelques types de revêtement
- Dalles plastiques semi-flexibles
- Dalles vinyliques sur semelle PVC-liège
- Revêtement vinylique à relief sur sous-couche expansée
- Revêtement en caoutchouc de synthèse moulé sous pression et vulcanisé à chaud. Etc.

MISE EN ŒUVRE

Seule la pose collée à l'aide d'adhésif étalé à l'aide d'une spatule à dent bénéficie de la garantie contractuelle (2 ou 5 ans). Elle s'effectue toujours sans joints, les dalles ou lés étant mis en place bord à bord.

PARQUETS

On distingue les parquets par :
- leur usinage : lames de bois massif ou éléments contrecollés,
- leur essence,
- leurs motifs,
- leur mode de pose : cloués sur solives, collés ou flottants.

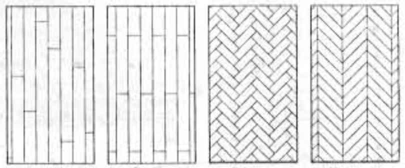
Ils sont régis par les DTU 51.1, 51.2, 51.3 et les normes NF B 54-000 à 011 et NF B 57-55.

Essence de bois

Chêne, châtaignier, hêtre, sapin ou bois tropicaux constituent le gros des essences utilisées. On emploie aussi maintenant des panneaux stratifiés, sandwich de fibres de bois densifiées et de stratifié haute pression en pose flottante uniquement.

PARQUETS MASSIFS À CLOUER

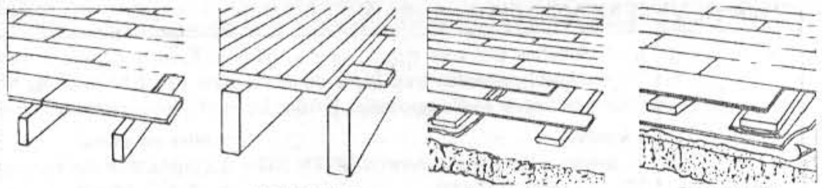
Les lames sont assemblées par rainures et languettes avant clouage sur un support bois, leur épaisseur est généralement comprise entre 12 et 77 mm, longueur et largeur varient selon les essences et les motifs à réaliser.



Anglaise coupe perdue — Coupe de pierre — Bâtons rompus — Point de Hongrie

• Premier cas : poutres apparentes

• Deuxième cas : sur un plancher en béton



Sur solives — Sur lambourdes clouées sur solives — Sur lambourdes collées — Sur lambourdes flottantes

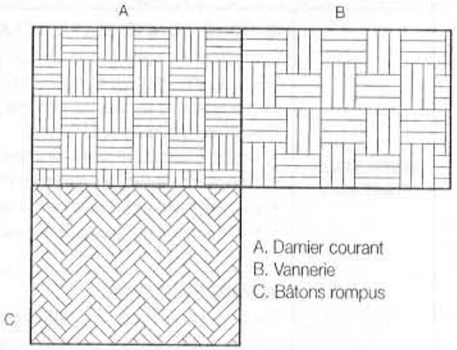
Laisser un joint de dilatation de 5 mm tout autour de la pièce, qui sera ensuite masqué par la plinthe.
À la place des lames, on peut utiliser des panneaux de particules agglomérées rainurés sur les 4 côtés en 19 ou 22 mm d'épaisseur, ceci oblige à prévoir une finition de type moquette ou sol plastique par exemple.

DOC. GEDIMAT

PARQUETS (suite)

■ PARQUETS MOSAÏQUES À COLLER

Ils se présentent sous la forme de dalles constituées de lamelles de bois minces (6 à 10 mm) et de petites dimensions, préassemblées entre elles et collées sur une trame textile ou un papier kraft, on obtient alors des motifs variés.
Ils sont directement collés sur le support en employant une colle à base de résines spéciales. Un joint de dilatation de 10 mm en périphérie des pièces est obligatoire.

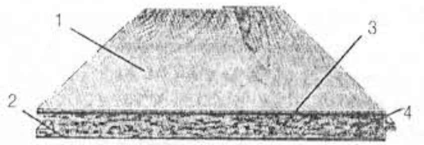


A. Damier courant
B. Vannerie
C. Bâtons rompus

■ PARQUETS FLOTTANTS

On les trouve sous forme de dalles ou de lames composées de 3 couches de bois mince contrecollées sur un panneau rainuré sur les 4 côtés, leur épaisseur varie entre 7 et 15 mm. On désolidarise complètement le parquet du support en interposant une sous-couche en polyéthylène (qui peut être phoniquement isolante). Seuls les côtés des éléments sont encollés entre eux avec de la colle à bois.

Un des avantages de ces parquets est qu'il peut se poser sur n'importe quel support (ancien parquet, carrelage...). Très utilisé en réhabilitation.
Une des tendances actuelles de l'aménagement intérieur semble privilégier, dans cette famille de parquets, les panneaux stratifiés qui présentent des avantages de dureté, de stabilité et absence d'entretien remarquables.



1 stratifié décoratif haute résistance
2 couche de contrebalancement qui permet de stabiliser l'ensemble
3 âme de fibres de bois densifiées
4 7 mm

• **Finition des parquets**
Toutes les finitions du bois sont possibles, la vitrification étant la pus résistante. On notera que de plus en plus d'éléments sont livrés déjà finis.

DOC. GEDIMAT

21.5 REVÊTEMENTS DE MURS

PAPIERS PEINTS

Il en existe de plusieurs types : vinyles, gaufrés, floqués, papiers à matière rapportée, etc. Généralement présentés sous forme de rouleaux de 10 × 0,53 m on les trouve quelquefois en 0,90 m de largeur (paille japonaise...). Selon les motifs, les papiers sont ou non à raccord.

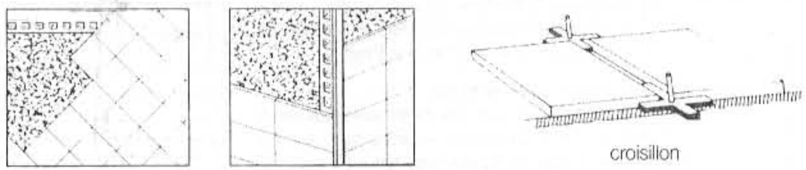
• **Normes**
Ils doivent répondre aux normes NF EN 233, 234, 235 et NF Q 33-002.
La norme NF EN 233 définit notamment :
• la méthode d'essai d'épongeabilité et le lavabilité,
• la méthode de détermination de la solidité à la lumière.

• **Mise en œuvre**
La préparation des murs est primordiale, il faut qu'ils soient lisses, secs et propres.
Pour cela, on doit impérativement :
• poncer les anciennes peintures,
• boucher les trous et les fissures,
• préencoller les fonds trop poreux.
Les colles employées sont généralement de type cellulosique ou vinylique diluables dans l'eau. Elles sont étendues à la brosse à l'envers du papier.

CARREAUX

On utilise principalement des carreaux de grès émaillé ou de faïence (voir tableau § 21.4). Les modes de pose restent identiques avec le carrelage de sol. La pose scellée étant régie par le DTU 55.
Une classification appelée P.E.I. (Porcelain Enamel Institute) a tendance à être plus utilisée que le classement UPEC. Elle est déterminée par un essai d'usure standardisé, les carreaux sont classés de I à IV suivant leur résistance croissante à l'abrasion. Cette classification, qui est quelquefois utilisée pour les revêtements de sols, n'est applicable qu'aux carreaux émaillés, les autres étant « Hors Classe P.E.I. ».

• **Accessoires**
La pose de carrelage mural utilise beaucoup d'accessoires, listels, baguettes d'angles, porte-savon, etc. ainsi que des pigments pour réaliser des joints de couleur coordonnés avec carreaux et appareils.
L'obtention de joints réguliers peut se réaliser à l'aide de croisillons en plastiques.



DOC. GEDIMAT

TISSUS ET TEXTILES MURAUX

Les tissus muraux à tendre, comme les textiles muraux, sont contrecollés sur papier ou sur mousse synthétique. Ils sont proposés en largeur 0,90 ou 1,00 m.

• **Mise en œuvre**
Les lés de tissus sont agrafés sur des baguettes murales posées sur le pourtour des murs, des portes et des fenêtres. Pour la finition, on cache les agrafes avec un galon ou une moulure.

PLAQUETTES DE PAREMENT

En brique, pierre naturelle ou reconstituée, les plaquettes de parement peuvent habiller les murs intérieurs comme extérieurs (vérifier la non-gélivité du produit), leur surface peut être lisse, rustique ou texturée.

• **Mise en œuvre**
Par collage sur support sain, les joints étant comblés 24 heures après à l'aide d'un coulis de mortier de ciment ou d'une barbotine spéciale.

22 VOIRIE ET RÉSEAUX DIVERS

22.1 VOIRIE

VOIRIE DE LOTISSEMENT (CHAUSSÉES EN BÉTON)

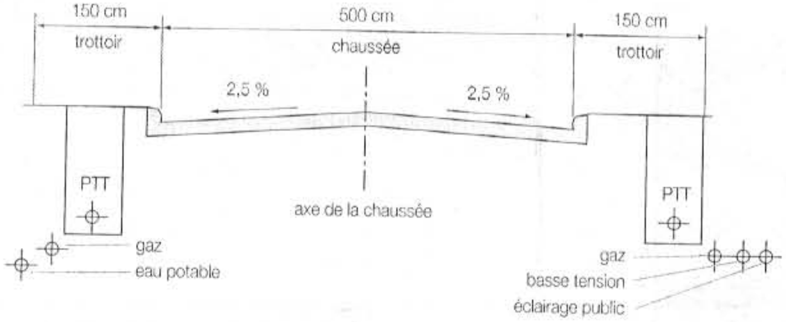
■ CONCEPTION

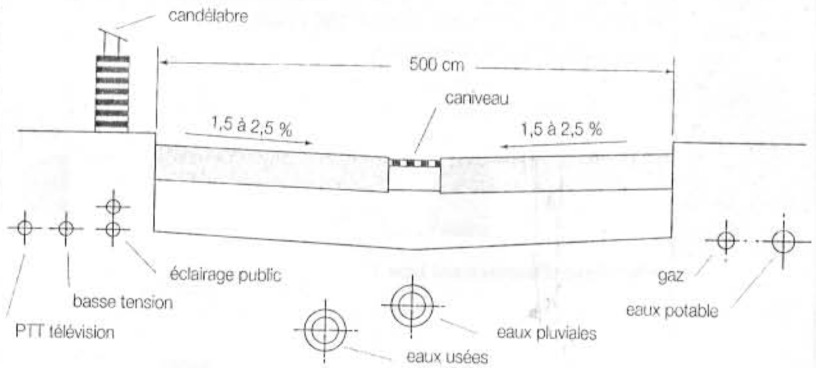
• Largeur de la voirie

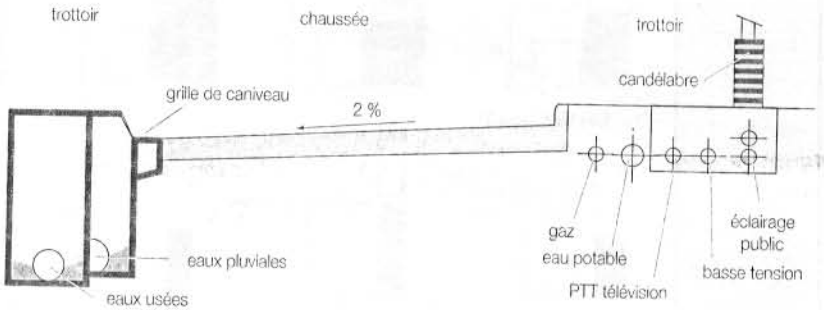
Elle doit avoir une emprise minimale de 8 mètres, avec une chaussée de 5 mètres et une largeur totale de trottoirs, symétriques ou non, de 3 mètres. Pour la voie tertiaire (desserte des pavillons), on peut adopter une chaussée de 3 mètres sauf si le stationnement y est prévu.

• Profil en travers

Il dépend essentiellement :
- de la conception générale,
- de la largeur de la voirie (profil monopente si largeur de 3 mètres, profil double pente si largeur de 5 mètres).







VOIRIE DE LOTISSEMENT (CHAUSSÉES EN BÉTON) (suite)

■ DIMENSIONNEMENT

Comme toutes les structures de chaussées, les chaussées en béton se déterminent en fonction du trafic et du sol de plate-forme.

- La classe de trafic : généralement estimée à t_5 (inférieure à 25 poids lourds par jour).
- Les sols : en quatre catégories. Un sol de médiocre portance pourra être traité au ciment et/ou à la chaux.
- Dimensionnement pour classe de trafic t_5 : voir tableau ci-dessous.

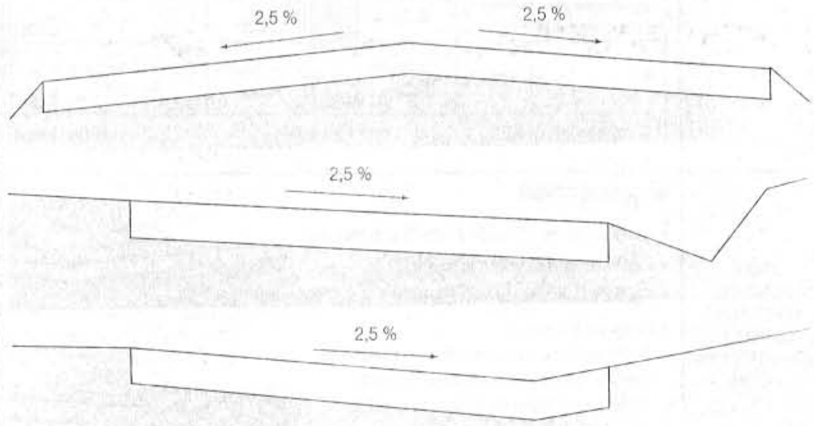
Nature du sol support	Structure proposée en béton pervibré ou fluide	Structure proposée en béton compacté
Support très déformable non réglable, non compactable	15 à 20 cm B.C 30 cm S.T.	25 cm B.Cp
Support déformable réglable, compactage	15 à 20 cm B.C	22 cm B.Cp
Support peu déformable réglable, compactable	16 à 18 cm B.C	20 cm B.Cp
Support très peu déformable	14 à 16 cm B.C	18 cm B.Cp

B.C. : béton de ciment *S.T. : sol traité* *B.Cp : béton compacté*

VOIRIE COMMUNALE (CHAUSSÉES EN BÉTON)

■ CONCEPTION

- Largeur de la chaussée des routes communales :
  - Routes à 1 seule voie de circulation : largeur de 3 à 5 mètres
  - Routes à 2 voies de circulation : largeur de 5 mètres.
- Pente longitudinale : jusqu'à 20 %.
- Pente transversale : en général 2 à 2,5 %.
- Profil en travers :
  - Routes à 2 voies : profil en toit avec fossés latéraux
  - Routes à 1 seule voie : profil monopente avec fossé latéral



VOIRIE COMMUNALE (CHAUSSÉES EN BÉTON) (suite)

DIMENSIONNEMENT

Comme toutes les structures de chaussées, les chaussées en béton se déterminent en fonction du trafic et du sol de plate-forme.

- La classe de trafic : de t_3 à t_5.
- Les sols : en 4 catégories. Un sol de médiocre portance pourra être traité au ciment et/ou à la chaux.
- Dimensionnement : (voir tableau).

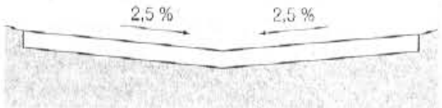
Nature du sol support		Support très déformable non réglable, non compactable	Support déformable réglable, compactable	Support peu déformable réglable, compactable	Support très peu déformable
Structure proposée en béton pervibré ou fluide	classe t_3	20 à 22 cm B.C. / 30 cm S.T.	20 à 22 cm B.C.	18 à 20 cm B.C.	16 à 18 cm B.C.
	classe t_4	19 à 21 cm B.C. / 30 cm S.T.	19 à 21 cm B.C.	17 à 19 cm B.C.	15 à 17 cm B.C.
	classe t_5	18 à 20 cm B.C. / 30 cm S.T.	18 à 20 cm B.C.	16 à 18 cm B.C.	14 à 16 cm B.C.
Structure proposée en béton compacté	classe t_3	18 à 20 cm B.Cp / 15 cm B.Cp	26 à 28 cm B.Cp	23 à 25 cm B.Cp	20 à 22 cm B.Cp
	classe t_4	26 à 20 cm B.Cp	23 à 25 cm B.Cp	20 à 22 cm B.Cp	18 à 20 cm B.Cp
	classe t_5	23 à 25 cm B.Cp	20 à 22 cm B.Cp	18 à 20 cm B.Cp	16 à 18 cm B.Cp

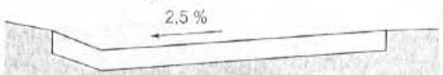
B.C. : béton de ciment *S.T. : sol traité* *B.Cp : béton compacté*

VOIRIE AGRICOLE, FORESTIÈRE, VITICOLE (CHAUSSÉES EN BÉTON)

CONCEPTION

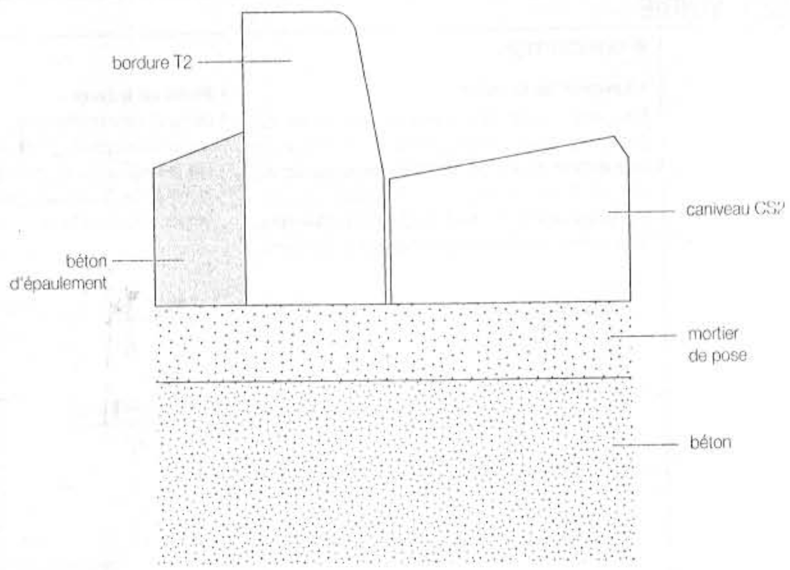
- Largeur de la chaussée : de 3 à 5 mètres
- Pente longitudinale : jusqu'à 20 %.
- Pente transversale : en général 2 à 2,5 %.
- Profil en travers :
  - Profil en long suivant pente naturelle du terrain : profil à écoulement central.
  - Chemins à flanc de coteau : profil à écoulement latéral.





BORDURES

DÉTAIL DE POSE DE BORDURES DE TROTTOIRS ET CANIVEAUX PRÉFABRIQUÉS



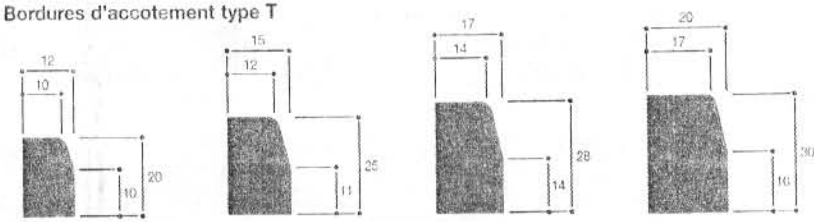
Nota : joints entre bordures de 1 cm garnis au mortier, joints de dilatation de 1 cm tous le 5 mètres.

BORDURES ET CANIVEAUX DE TROTTOIR

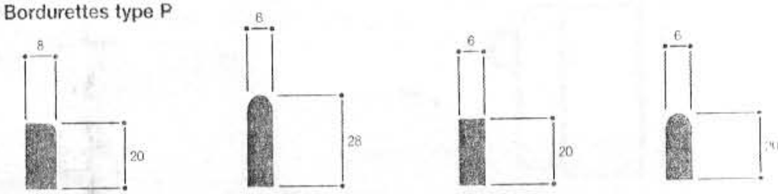
- Bordures d'accotement type A



- Bordures d'accotement type T



- Bordurettes type P



DOC. STRADAL

BORDURES (suite)

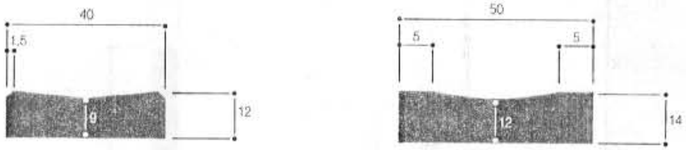
• Bordures type CR



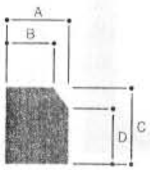
• Caniveaux simples type CS



• Caniveaux doubles type CC

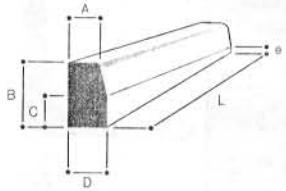


• Bordures basses



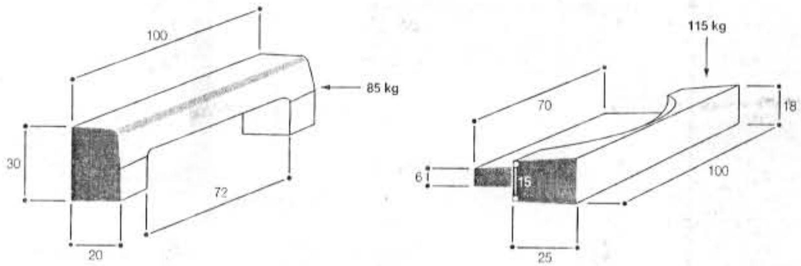
type	A	B	C	D	Poids kg
T1	15	12	16	11	63
T2	17	14	19	14	73

• Bordures inclinées



type	A	B	C	D	L	e	Poids kg
T1	12	25	11	15	100	12	74
T2	14	28	14	17	100	14	92

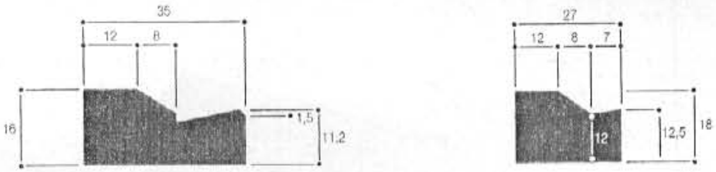
• Avaloir et bavette profil T



DOC. STRADAL

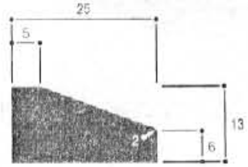
BORDURES (suite)

• Bordures caniveaux type AC

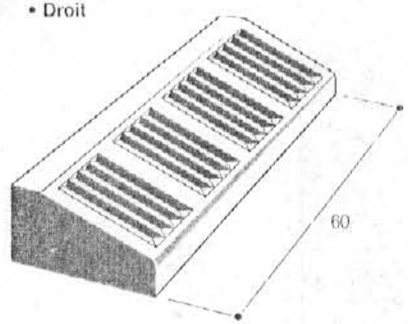


ÎLOTS DIRECTIONNELS

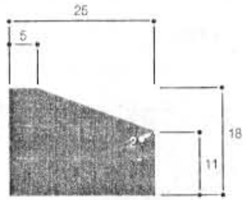
• Type i1



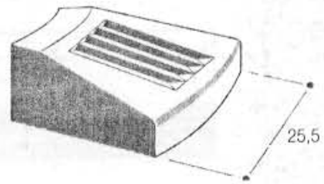
• Droit



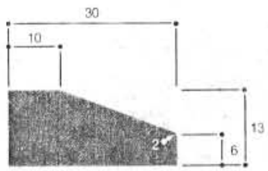
• Type i2



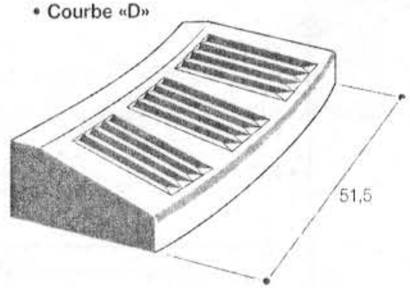
• Courbe «C»



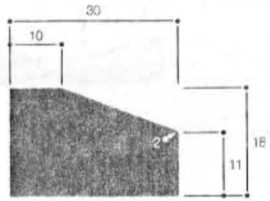
• Type i3



• Courbe «D»



• Type i4

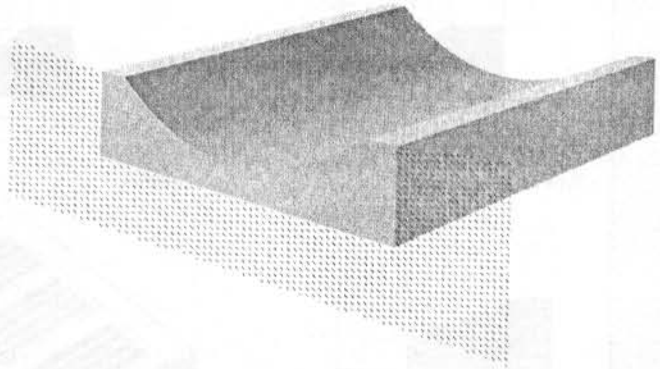


	Poids pièce kg		
Modèle	Droit	Courbe «C»	Courbe «D»
i1	31	11	27
i2	50	16	39
i3	46	13	32
i4	65	19	49

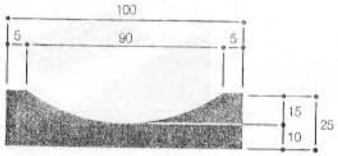
DOC. STRADAL

CANIVEAUX FIL D'EAU

BORDURES (suite)

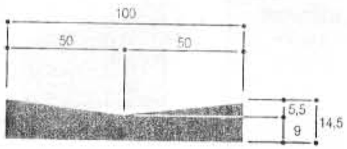


• FE5



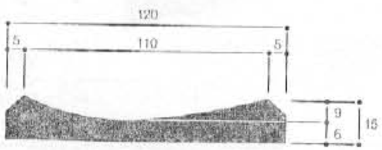
Élément de 2,00 mL 764 kg

• FE6



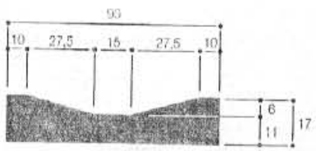
Élément de 2,00 mL 560 kg

• FE7



Élément de 2,00 mL 560 kg

• FE8

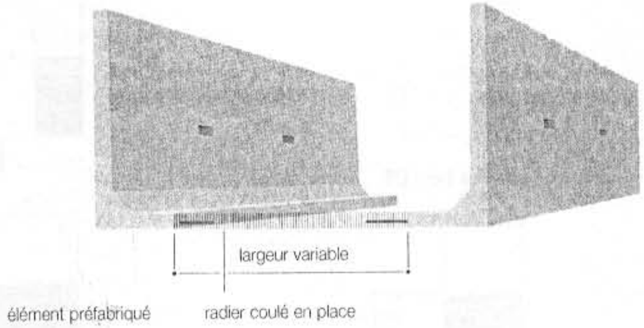


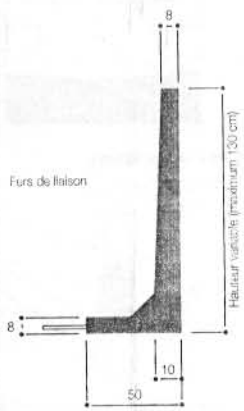
Élément de 2,00 mL 612 kg

DOC. STRADAL

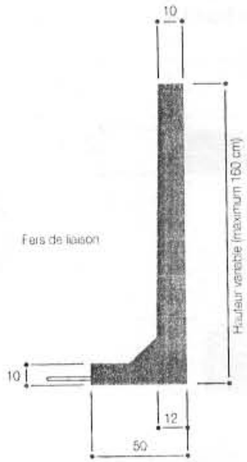
ÉLÉMENTS DE CANAL

ÉQUIPEMENTS DIVERS

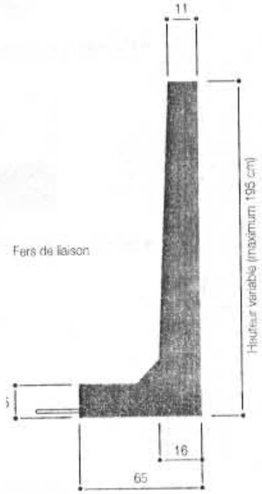




Longueur = 2,40 mL
Poids = 910 kg

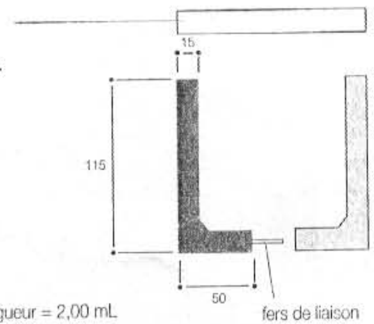


Longueur = 2,40 mL
Poids = 1380 kg



Longueur = 2,40 mL
Poids = 2016 kg

Cet élément peut recevoir une dalle de couverture. Une étude est réalisée cas par cas en fonction de la surcharge indiquée.

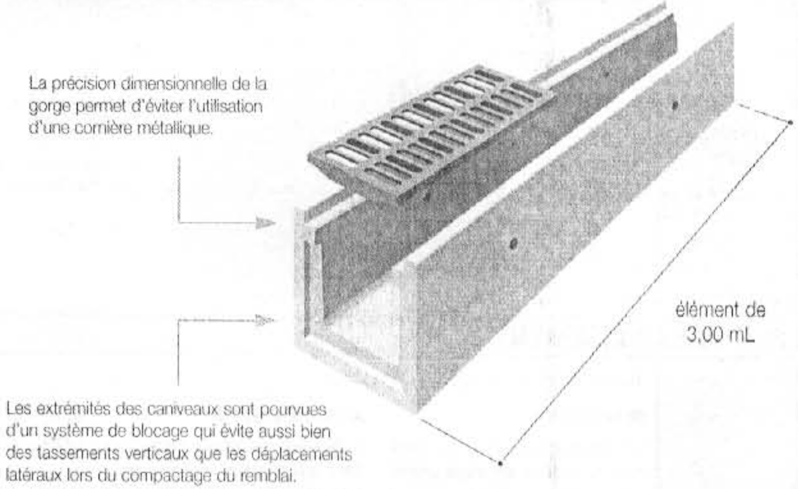


longueur = 2,00 mL
poids = 1200 kg

DOC. STRADAL

ÉQUIPEMENTS DIVERS

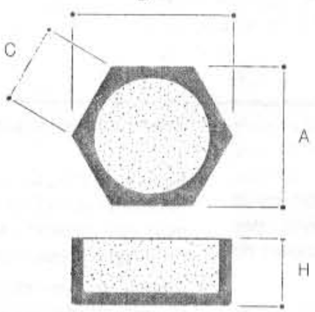
■ CANIVEAUX À GRILLE

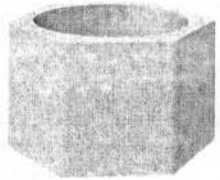


La précision de ce système de clavetage élimine le joint au mortier. L'étanchéité entre éléments peut éventuellement être réalisée avec un cordon plastique passé au pistolet.

■ JARDINIÈRES

Jardinières hexagonales

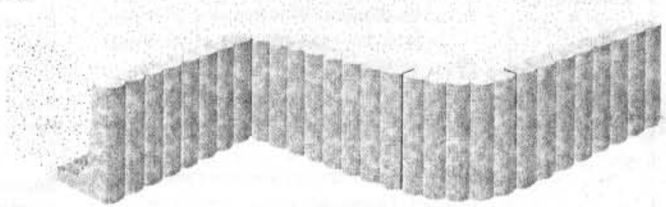




type	A	B	C	H	Poids kg
H 40	84	97	48,5	40	280
H 60	84	97	48,5	60	390

■ MURSOL

Mur de pied de talus.
Aspect :
Démoulage immédiat
- béton gris
- béton coloré

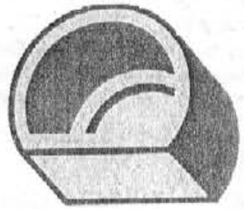


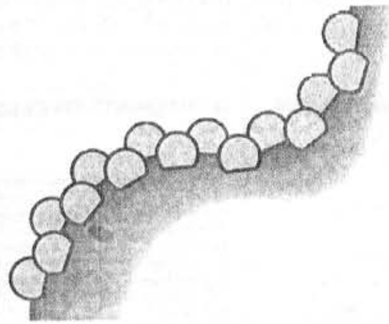
DOC. STRADAL

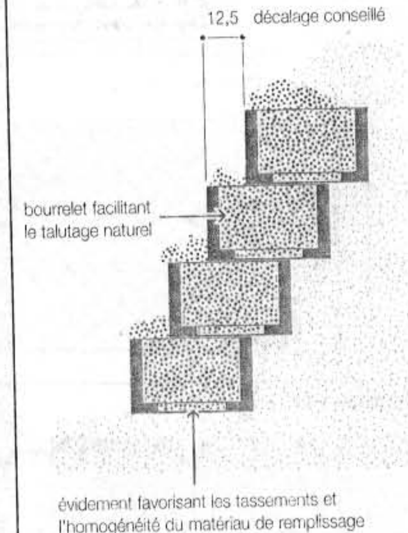
ÉQUIPEMENTS DIVERS (suite)

■ LE MODUL'O

C'est un élément modulaire végétalisable, servant à réaliser des aménagements paysagers en pente, ou consolider des talus jusqu'à 1,75 m de hauteur.

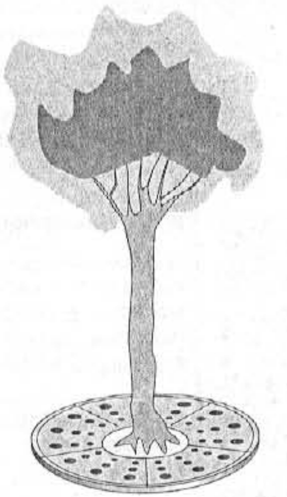


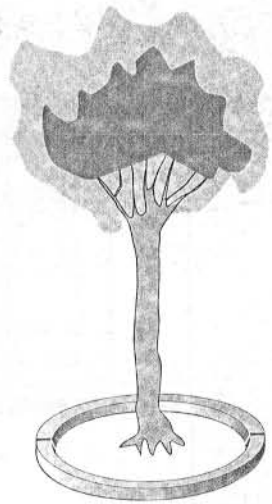




DOC. STRADAL

■ ENTOURAGES D'ARBRE





PAVAGE

■ TYPES DE PAVÉS

On distingue trois types de pavés.

- Les pavés classiques de section carrée, rectangulaire ou hexagonale.
- Les pavés autobloquants à emboîtement : ils sont de forme telle qu'après mise en place il y ait liaison horizontale, dans une ou plusieurs directions, entre les éléments du dallage ainsi constitué.
- Les pavés autobloquants à emboîtement et épaulement : ils sont de forme telle qu'après mise en place il y ait liaison horizontale et verticale entre les éléments du dallage ainsi constitué.

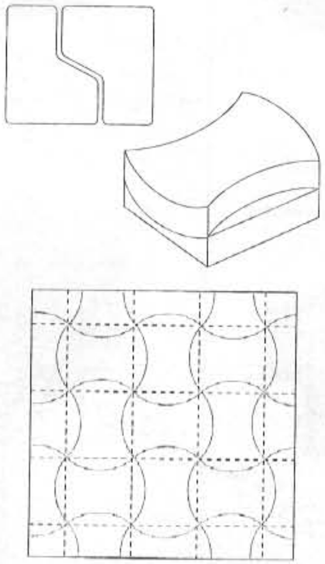
Rappelons que l'autoblocage est plus efficace lorsque l'appareillage des pavés présente des lignes discontinues de joints courts.

■ CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

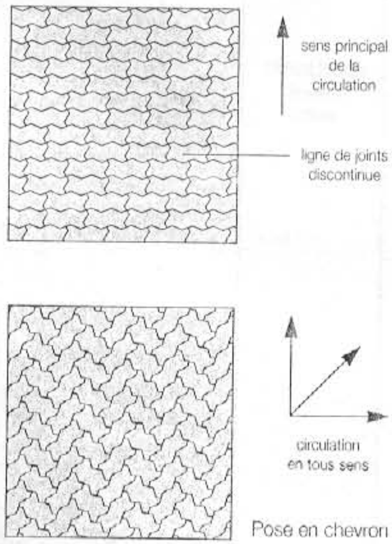
Les pavés classiques usuels ont des sections carrées (10 × 10 ou 12 × 12 cm) ou rectangulaires (10 × 20 ou 12 × 24 cm). Pour les premiers, l'épaisseur est de 5 à 6 cm ; elle est de 6 à 7 cm pour les seconds.

Les pavés autobloquants ont généralement une forme s'inscrivant dans un rectangle dont la longueur est sensiblement le double de la largeur (22 × 11, 25 × 12,5 cm) : leur épaisseur est comprise entre 6 et 10 cm.

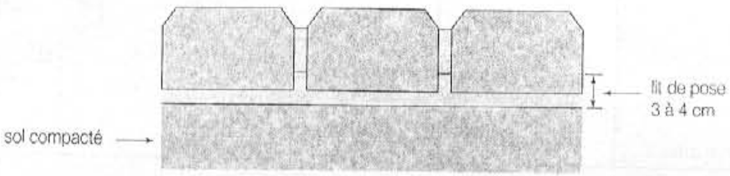
■ EXEMPLE DE PAVÉS À EMBOÎTEMENT ET ÉPAULEMENT



■ DIFFÉRENTS TYPES DE POSE



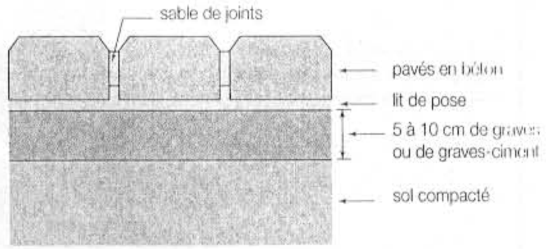
■ POSE DE PAVÉS SUR UN TERRAIN PORTEUR



DOC. CIMBETON

PAVAGE (suite)

■ POSE DE PAVÉS SUR UN TERRAIN FAIBLEMENT PORTEUR



DOC. CIMBETON

22.2 ASSAINISSEMENT

FAMILLE DE RÉSEAUX

Trois critères de classement possibles :

■ NATURE

– Réseaux unitaires : un seul réseau évacue les eaux usées et pluviales.
– Réseaux séparatifs : deux réseaux :
• 1 pour les eaux usées.
• 1 pour les eaux pluviales.
– Réseaux pseudo-séparatifs : le réseau d'eau usée peut éventuellement collecter les eaux pluviales des propriétés riveraines.

■ DESTINATION

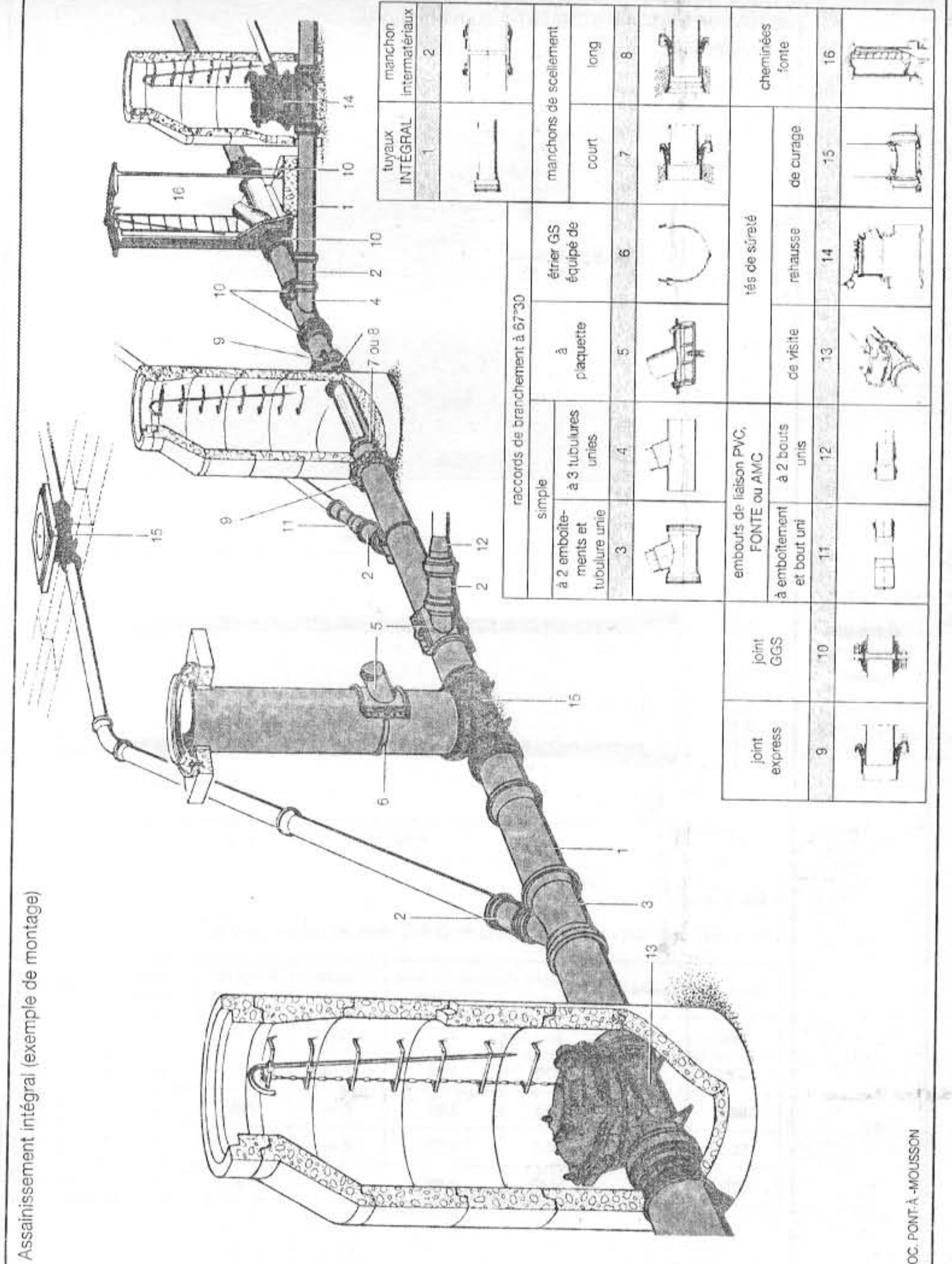
– Suivant sa destination, on peut exiger des réseaux des caractéristiques :
• mécaniques (charge à rupture...),
• physiques (étanchéité),
• de durabilité vis-à-vis des effluents évacués ou du sol environnant (corrosion),
• de mise en œuvre aisée.

■ MATÉRIAUX CONSTITUTIFS

– Béton (armé et non armé)
– Grès
– PVC
– Etc.

DÉFINITION DES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS

- **Déversoir d'orage :** il permet d'évacuer directement dans le cours d'eau récepteur le plus proche, l'excédent d'eau pluviale par rapport au débit maximal admissible par la station d'épuration. Les sections des réseaux sont donc sensiblement réduites du fait de cette limitation des débits.
- **Caniveaux :** éléments de voirie qui collectent en surface les eaux pluviales provenant des chaussées et trottoirs.
- **Gargouilles :** conduites dans le sol conduisant les eaux pluviales aux caniveaux.
- **Bouches d'égout :** elles assurent la collecte en surface des eaux pluviales et de lavage des chaussées.
- **Avaloir :** élément de voirie permettant de recueillir les eaux pluviales en tête d'une bouche d'égout.
- **Regards de visite :** ils assurent l'accès permettant l'entretien et la ventilation des réseaux. Ils sont coiffés par un dispositif de fermeture « cadre et tampon ».
- **Tés de curage :** ils permettent le curage des réseaux.
- **Siphon de chasse :** permet le rinçage d'un tronçon à faible pente (dans lequel l'entraînement des matières est difficile compte tenu de la faible vitesse des effluents).
- **Siphon disconnecteur :** permet de retenir les déchets des eaux usées qui pourraient obstruer le branchement à l'égout.
- **Raccord de piquage** (ou culotte de raccordement ou tabouret de branchement) : permettent le branchement au réseau.
- **Bassin de retenue des eaux pluviales :** bassin tampon avant restitution dans le réseau.
- **Poste de relèvement :** il s'impose lorsque l'évacuation gravitaire ne peut techniquement ou économiquement être réalisée.
- **Séparateur à graisses ou hydrocarbures :** permettent de retenir les graisses et hydrocarbures pour ne pas polluer les réseaux.



tuyaux INTÉGRAL		1
manchon intermatériaux		2
raccords de branchement à 67°30 – simple	à 2 emboîtements et tubulure unie	3
raccords de branchement à 67°30 – simple	à 3 tubulures unies	4
raccords de branchement à 67°30	à plaquette	5
raccords de branchement à 67°30	étrier GS équipé de	6
manchons de scellement	court	7
manchons de scellement	long	8
joint express		9
joint GGS		10
embouts de liaison PVC, FONTE ou AMC	à emboîtement et bout uni	11
embouts de liaison PVC, FONTE ou AMC	à 2 bouts unis	12
tés de sûreté	de visite	13
tés de sûreté	rehausse	14
tés de sûreté	de curage	15
cheminées fonte		16

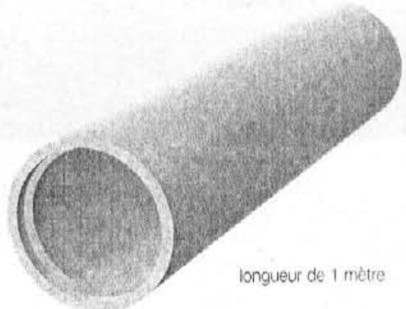
Assainissement intégral (exemple de montage)

DOC. PONT-À-MOUSSON

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS (suite)

TUYAUX CYLINDRIQUES

Tuyaux vibro-comprimés, destinés à toutes les utilisations courantes. Emboîtement à mi épaisseur avec joint au mortier.

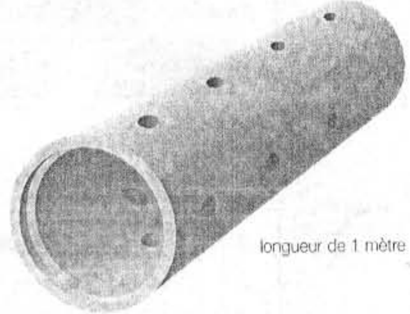


longueur de 1 mètre

Diamètres cm	Épaisseur mm	Poids kg
10	20	18
15	22	28
20	24	40
25	28	59
30	32	80
40	43	145
50	47	194
50	55	271

TUYAUX PERFORÉS POUR DRAINAGE

- Mêmes caractéristiques que les tuyaux cylindriques.
- Comportent selon le diamètre une ou plusieurs rangées de 4 trous.
- Disponibles sur stock jusqu'au Ø 30 inclus.

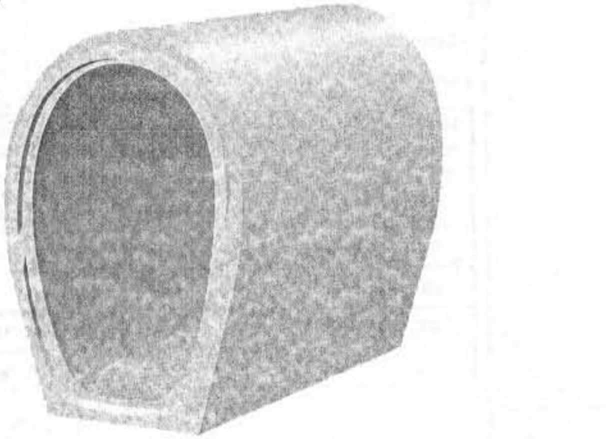


longueur de 1 mètre

Palettisation tuyaux cylindriques et perforés

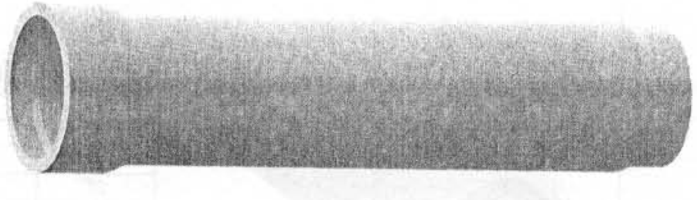
Diamètres	Quantité palette	Poids palette
10	60	1080
15	39	1092
20	23	920

TUYAUX OVOÏDES



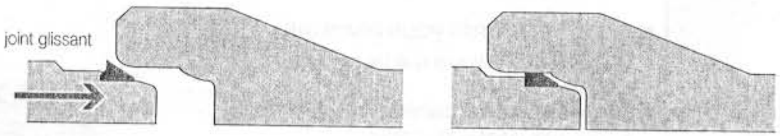
DOC. STRADAL

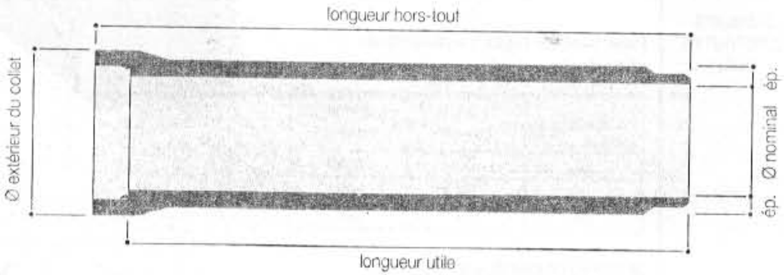
TUYAUX D'ASSAINISSEMENT POUR JOINT SOUPLE



ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS (suite)

- **Emboîtement**





- **Dimensions**

Élément de 2,40 mètres

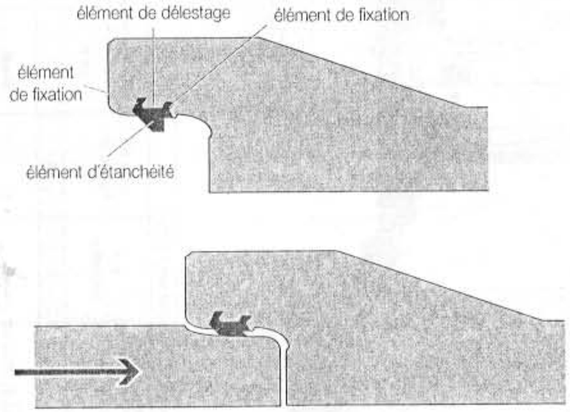
Ø intérieur nominal en mm	Épaisseur en mm	Ø extérieur du collet en mm	Longueur hors-tout en mm	Longueur utile en mm	Poids de l'élément en kg	Poids du mL en kg	Classe de résistance	
300	50	510	2,50	2,40	358	150	E 90 B	E 135 A
400	55	610	2,50	2,40	500	210	E 90 B	E 135 A
500	65	755	2,50	2,40	760	317	E 90 B	E 135 A
600	75	900	2,50	2,40	1046	435	E 90 B	E 135 A
800	90	1140	2,50	2,40	1632	680		E 135 A

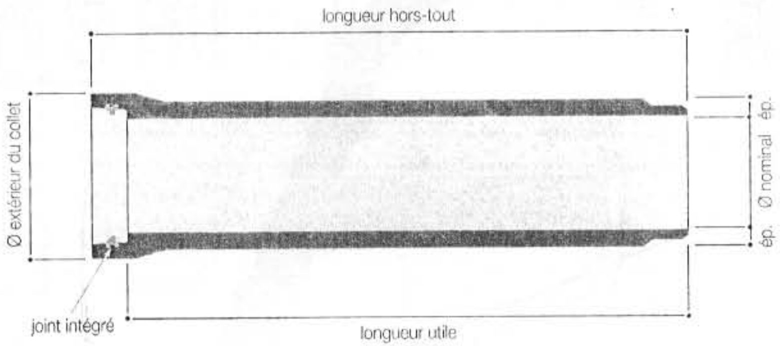
DOC. STRADAL

TUYAUX D'ASSAINISSEMENT À JOINT INTÉGRÉ

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS (suite)

- **Emboîtement**





- **Dimensions**

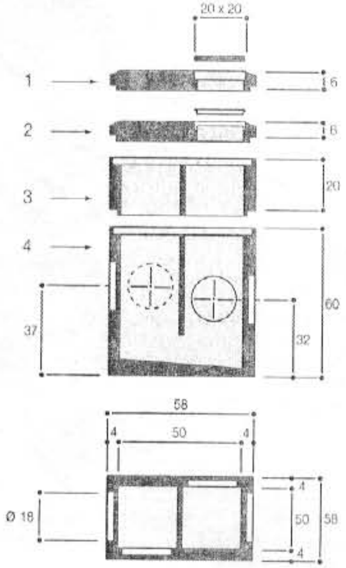
Les tuyaux sont disponibles du Ø 300 au Ø 800 dans les séries suivantes :

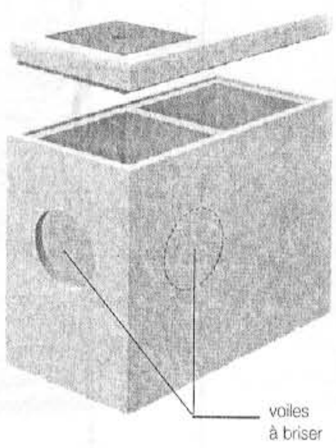
Diamètre	Épaisseur	Ø extérieur du collet	Longueur hors-tout mm	Longueur utile	Poids de l'élément	Poids au mL	Série
300	50	510	2,50	2,40	358	150	135 A
400	55	610	2,50	2,40	500	210	135 A
500	65	755	2,50	2,40	760	317	135 A
600	75	900	2,50	2,40	1046	435	135 A
800	90	1140	2,50	2,40	1632	680	135 A

DOC. STRADAL

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS (suite)

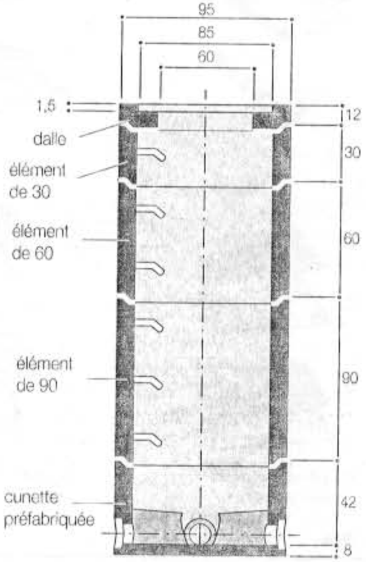
■ CAISSES SIPHOÏDES

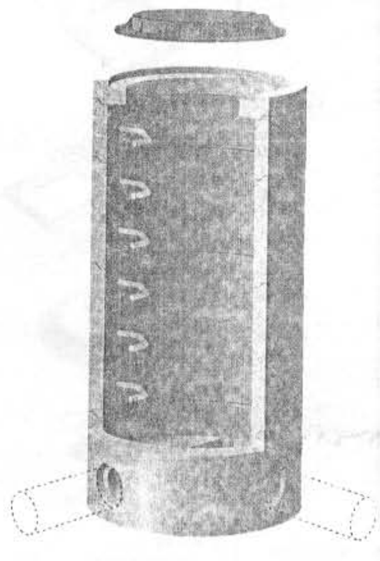




1. dalle avec tampon béton 20 × 20
2. dalle armée avec tampon fonte 25 × 25 à fermeture hydraulique
3. hausse
4. corps

■ REGARD DE VISITE Ø 80



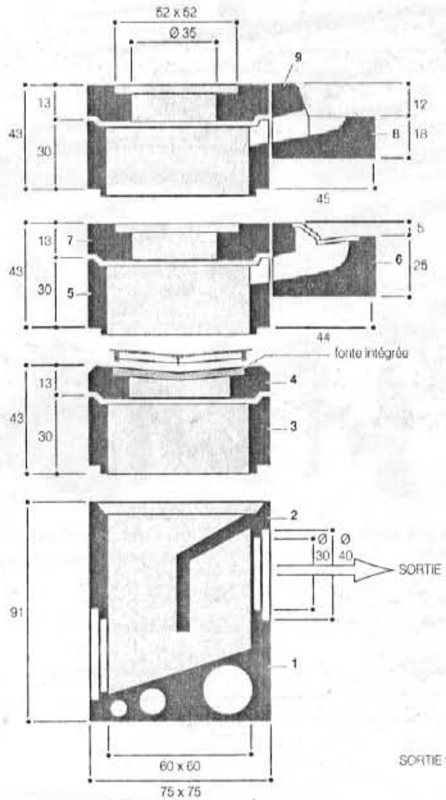


Cunette à manchons incorporés

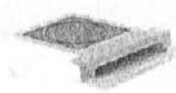
DOC. STRADAL

DÉFINITION DES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS (suite)

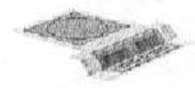
■ BOUCHES D'ÉGOUT



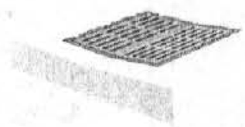
- Sous-trottoir avec avaloir profil T

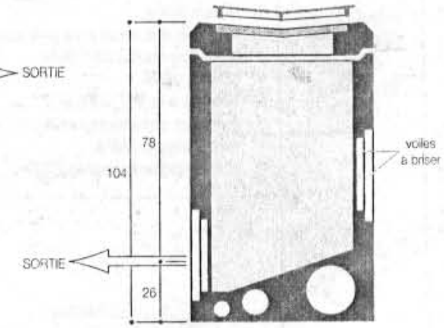


- Sous-trottoir avec avaloir profil AC



- Sous-chaussée





N°	Désignation	Poids kg
1	Corps de bouche d'égout	512
2	Cloison (2 el)	35
3	Hausse de 30 sans entaille	145
4	Dalle concave pour grille FD 500 × 500	110
5	Hausse de 30 avec entaille	132
6	Avaloir profil AC	180
7	Dalle plate 60 × 60 pour tampon FD 500 × 500	145
8	Caniveau bavette	115
9	Avaloir profit T	85

DOC. STRADAL

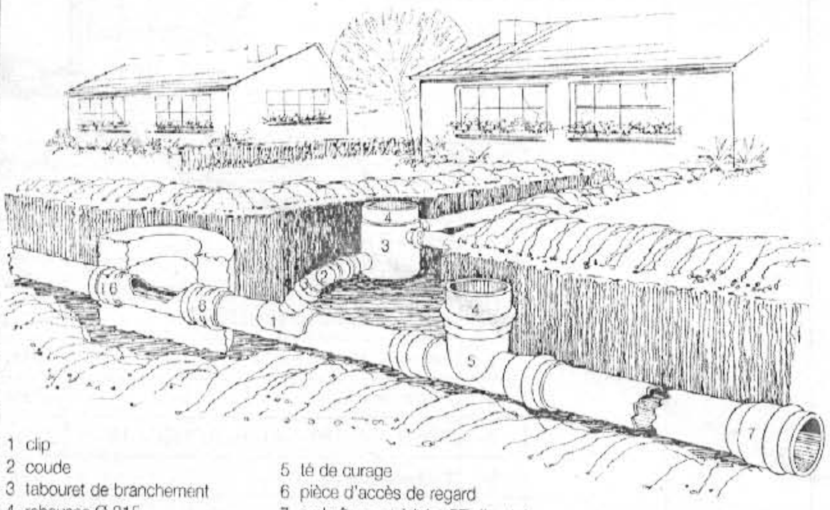
■ CANALISATIONS EN POLYCHLORURE DE VINYLE (PVC)

EXEMPLES DE TUYAUX P.V.C. RIGIDES OU AMIANTE CIMENT



1 tuyaux SOFA
2 tuyaux à emboîture pour joint soudé
3 manchon coulissant SOFA
4 coudes SOFA
5 courbes à grand rayon SOFA
6 culotte et embranchements SOFA
7 selle à souder SOFA
8 augmentation excentrée SOFA
9 manchon de scellement SOFA
10 manchette de raccordement
11 piquage-clips
12 bouchon SOFA
13 tabourets siphoïdes
14 regard de curage
15 boîte de branchement

DOC. PONT-A-MOUSSON

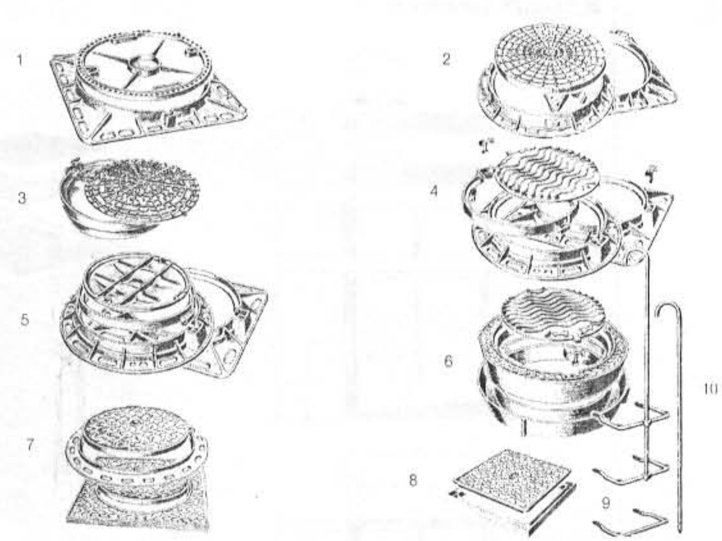


1 clip
2 coude
3 tabouret de branchement
4 rehausse Ø 315
5 té de curage
6 pièce d'accès de regard
7 emboîtement à joint ST d'un tube

DOC. LUCOSANIT

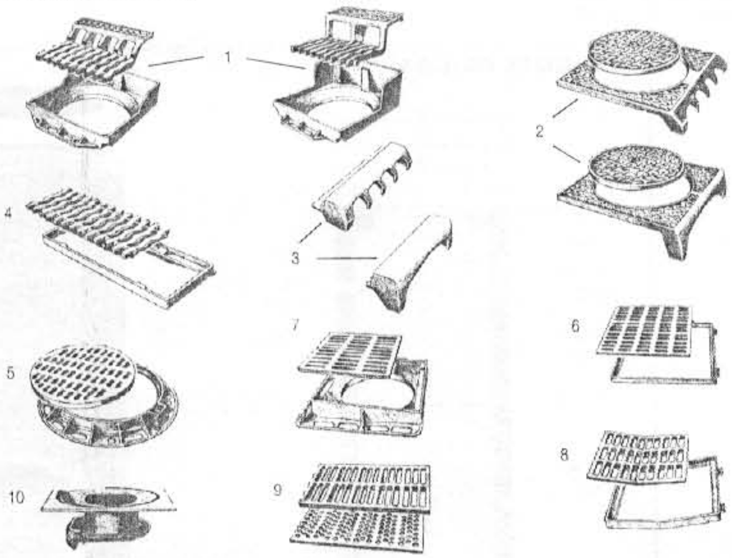
EXEMPLES DE FONTES DE VOIRIE

■ REGARDS DE VISITE ET ACCESSOIRES



1 regard PARIS
2 regard URBAIN VF
3 regard EUROPÉEN
4 regard GT3
5 regard TP2
6 regard LE RÉGLABLE
7 regard pour trottoir
8 regard à fermeture hydraulique
9 échelons en fonte ductile
10 crosse en acier galvanisé

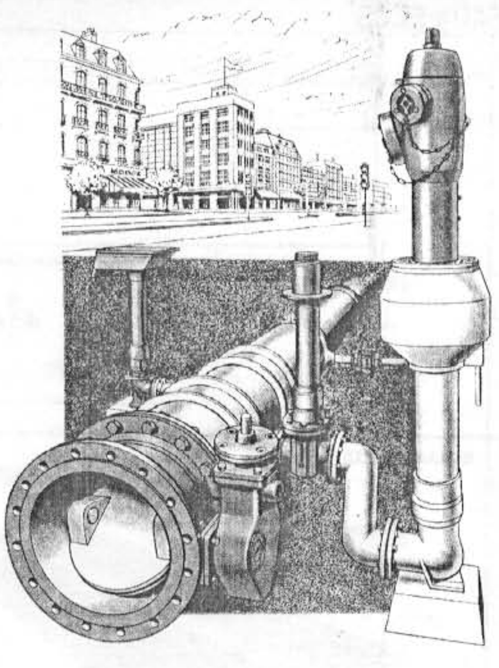
■ BOUCHES D'ÉGOUT



1 grilles-avaloirs type AT
2 plaques de recouvrement
3 avaloirs
4 grille plate type AT
5 grille plate circulaire
6 grille plate carrée
7 grille carrée type marché commun
8 grille concave carrée
9 grilles plates sans cadre
10 bouche d'égout inodore P. Aq

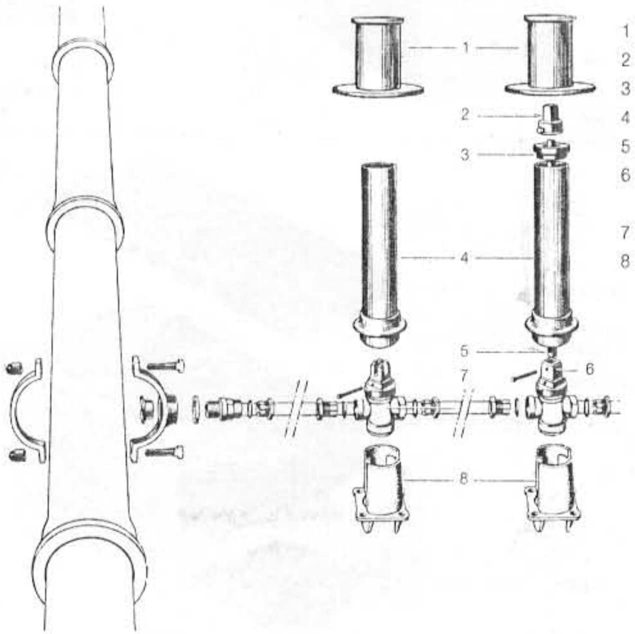
DOC.PONT-A-MOUSSON

VUE GLOBALE D'UN SYSTÈME D'ADDUCTION D'EAU



DOC. PONT-A-MOUSSON

MATÉRIEL DE BRANCHEMENT D'EAU



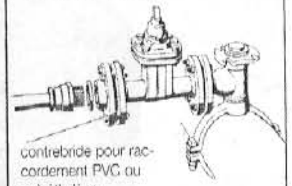
1 tête de bouche à clé
2 chapeau d'ordonnance
3 couvercle guide-tige
4 tube-allonge
5 tige de manœuvre
6 chapeau d'ordonnance
7 chapeau-manchon
8 tabernacle

DOC. PONT-A-MOUSSON

MATÉRIEL DE BRANCHEMENT D'EAU (suite)

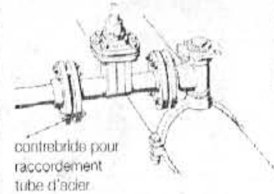
DOC. PONT-A-MOUSSON

■ BRANCHEMENT PVC OU POLYÉTHYLÈNE



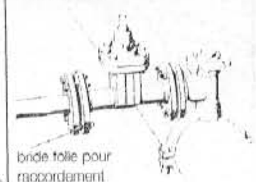
contrebride pour raccordement PVC ou polyéthylène

■ BRANCHEMENT TUBES D'ACIER



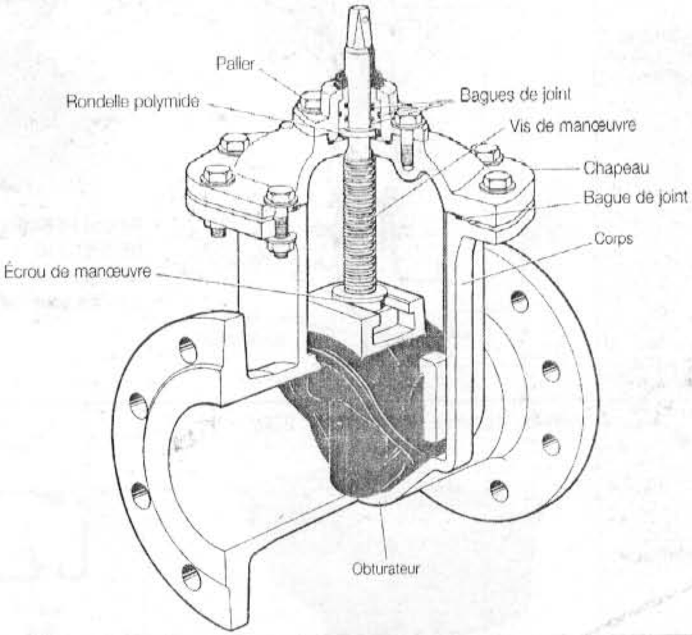
contrebride pour raccordement tube d'acier

■ BRANCHEMENT TUYAUX DE PLOMB



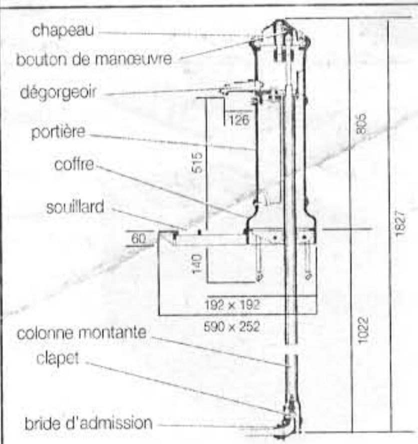
bride folle pour raccordement tuyaux de plomb

ROBINET-VANNE (EURO 16)



DOC. PONT-A-MOUSSON

APPAREIL DE FONTAINERIE

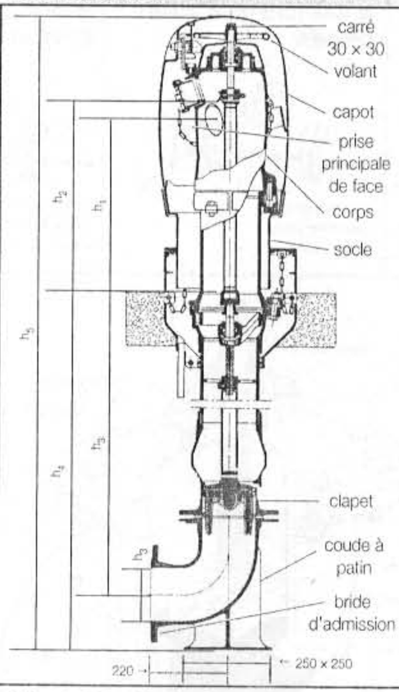


Fontaine Hercule



DOC. PONT-A-MOUSSON

APPAREILS DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE





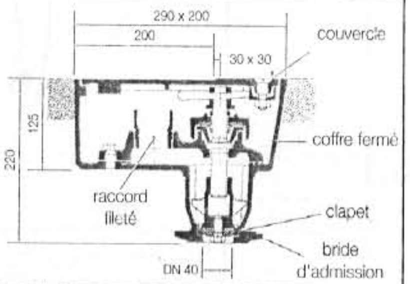
- Poteau HERMÈS 150 renversable normalisé NF S 61-213
- fonte ductile
- à prises sous coffre aluminium époxydé

DOC. PONT-A-MOUSSON

BOUCHE D'ARROSAGE

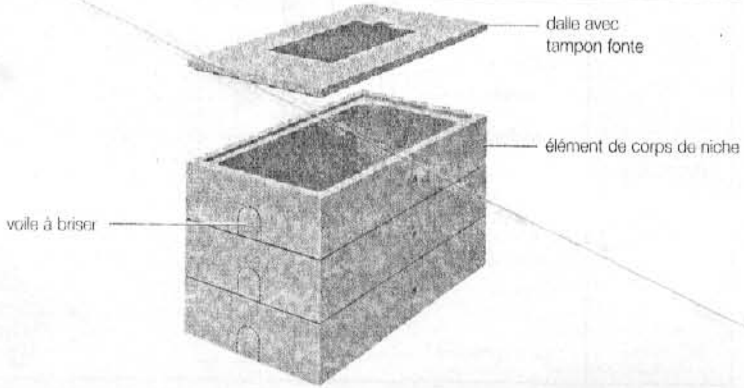
Prise de 40, coffre fermé, masse : 22kg





DOC. PONT-A-MOUSSON

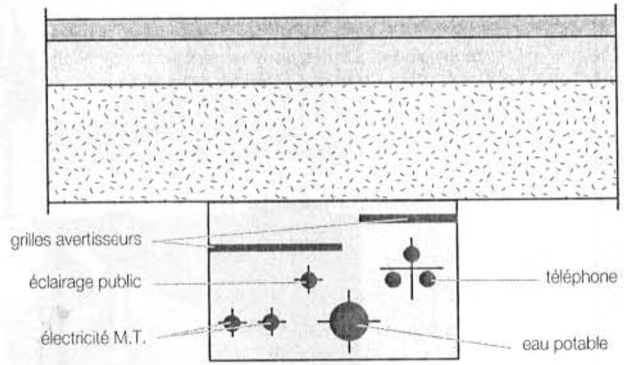
NICHES À COMPTEUR D'EAU 60 × 80



DOC. STRADAL

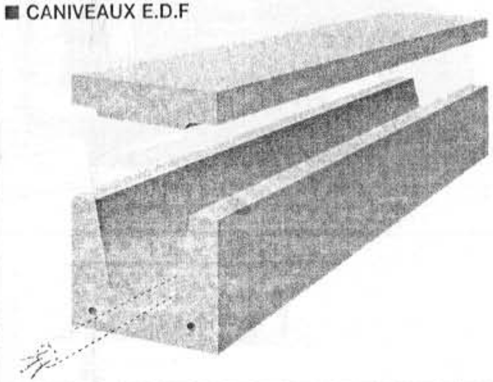
22.4 RÉSEAUX SECS

COUPE TYPE SUR TRANCHÉE COMMUNE

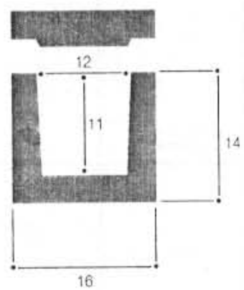


CANIVEAUX

■ **CANIVEAUX E.D.F**

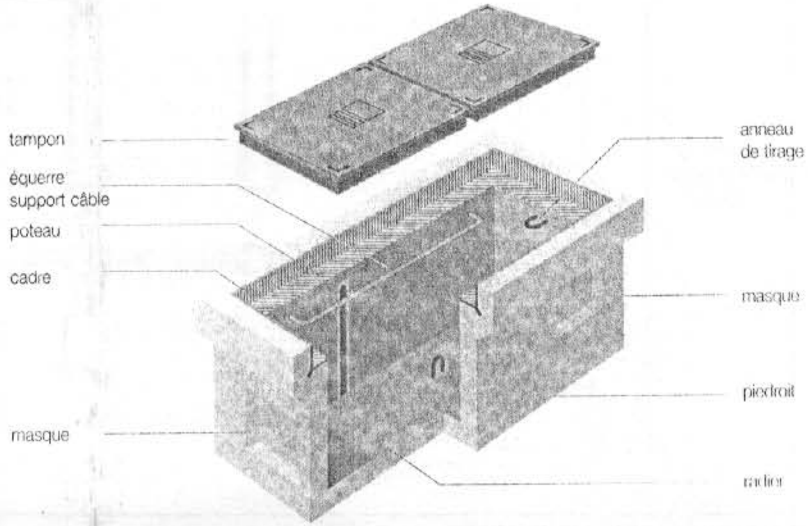


■ **CANIVEAUX TÉLÉCOM**



DOC. STRADAL

CHAMBRES DE TIRAGE TÉLÉCOM



DOC. STRADAL

23 ROUTES

23.1 CATÉGORIES DE ROUTES

Une route est définie par son **tracé en plan** et par des **coupes verticales** : profil en long et profil en travers.
Il existe cinq catégories de routes. Les paramètres géométriques permettant leur conception sont établis en fonction de la vitesse de référence V_r (valeur fixée suivant la destination de la route).

PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUES (D'APRÈS LE GUIDE TECHNIQUE DES ROUTES)

Désignation du paramètre				Symbole et unité	Catégorie de route 4°	3°	2°	1°	Except.
Vitesse de référence				V_r (km/h)	40	60	80	100	120
Tracé en plan	Dévers maximal			δ M (%)	7	7	7	7	7
Tracé en plan	Rayon en plan RH (m)	Minimal absolu (dévers δ M)		RHm	40	120	240	425	665
Tracé en plan	Rayon en plan RH (m)	Minimal normal (dévers)		RHN (δ %)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)
Tracé en plan	Rayon en plan RH (m)	Au dévers minimal (1)		RH" (2,5 %) RH" (2 %)	250 300	450 500	650 700	900 1000	1500 1600
Tracé en plan	Rayon en plan RH (m)	Non déversé		RH'	400	600	900	1300	1800
Profil en long	Déclivité maximale en rampe			π m (%)	8	7	6	5	4
Profil en long	Rayon en angle saillant RV (m)	Chaussée unidirectionnelle (Route à 4 voies ou à 2 chaussées)	Minimal absolu	RVm_1	500	1500	3000	6000	12000
Profil en long	Rayon en angle saillant RV (m)	Chaussée unidirectionnelle (Route à 4 voies ou à 2 chaussées)	Minimal normal	RVN_1	1500	3000	6000	12000	12000
Profil en long	Rayon en angle saillant RV (m)	Chaussée bidirectionnelle (Route à 2 ou 3 voies)	Minimal absolu	RVm_2	500	1600	4500	10000	
Profil en long	Rayon en angle saillant RV (m)	Chaussée bidirectionnelle (Route à 2 ou 3 voies)	Minimal normal	RVN_2	1600	4500	10000	17000	
Profil en long	Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal absolu		RVm'	700	1500	2200	3000	4200
Profil en long	Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal normal		RVN'	1500	2200	3000	4200	6000
Profil en long	Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3 voies			RVD (m)	2500	6500	11000	17000	28000

(1) Le dévers minimal est 2,5 % pour les chaussées en béton bitumineux et 2 % pour celles en béton de ciment.

DOC. SETRA / LCPC

PARAMÈTRES CINÉMATIQUES

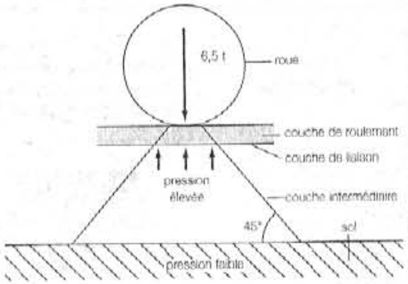
Vitesse du véhicule		V (km/h)	40	60	80	100	120
Longueur de freinage		d_0 (m)	15	35	60	105	170
Distance d'arrêt en alignement		d_1 (m)	40	70	105	160	230
Distance d'arrêt en courbe		d_2 (m)	45	80	120	180	280
Distance de visibilité de dépassement	minimale	d_d (m)	150	250	325	400	500
Distance de visibilité de dépassement	normale	d_D (m)	250	350	500	625	800
Distance de visibilité de manœuvre de dépassement		dMd (m)	70	120	200	300	400

DOC. SETRA / LCPC

23.2 STRUCTURE TYPE

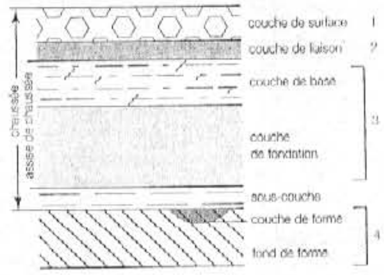
ACTIONS ET STRUCTURE

■ ACTIONS ROUTIÈRES VERTICALES



L'épaisseur des couches intermédiaires dépend donc de la nature du sol et du trafic. Cette épaisseur peut être augmentée si risque de gel de l'assise.

■ STRUCTURE TYPE

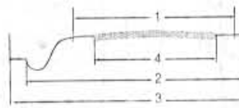


1 roulement
2 adhérence - étanchéité
3 diffusion des charges
4 plate-forme régulière

23.3 PROFILS EN TRAVERS TYPES

PLATE-FORME ASSIETTE EMPRISE (définitions)

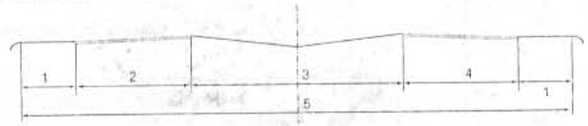
1 **plate-forme :** surface de la route comprenant la ou les chaussées, les accotements, éventuellement les terre-pleins centraux
2 **assiette :** surface du terrain réellement occupé par la route, délimitée par l'intersection avec le terrain naturel des talus de déblai et remblai et de la surface extérieure des ouvrages indispensables à la route.
3 **emprise :** surface du terrain affecté à la route et à ses dépendances.
4 **chaussée.**



CHAUSSÉE DOUBLE

Vr = 120 km/h ou Vr ≤ 100 km/h avec terre-plein de 13 m bande d'arrêt de 2,50 m.

1 accotement de 3,25 m
2 1[re] chaussée de 7 m
3 terre-plein de 13 m
4 2[e] chaussée de 7 m
5 plate-forme de 33,50 m



CHAUSSÉE UNIQUE

■ À 4 VOIES DE 3,50 M

Vr ≤ 100 km/h - Bandes d'arrêt de 2,50 m

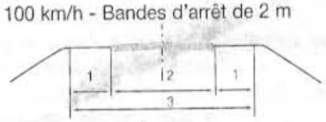
Simple ligne jaune médiane

1 accotement de 3,25 m
2 chaussée de 14 m
3 plate-forme de 20,50 m



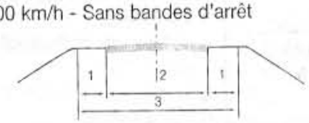
■ À 2 VOIES DE 3,50 M

Vr ≤ 100 km/h - Bandes d'arrêt de 2 m



1 accotement de 2,75 m
2 chaussée de 7 m
3 plate-forme de 12,50 m

Vr ≤ 100 km/h - Sans bandes d'arrêt

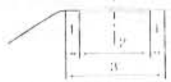


1 accotement de 2 m
2 chaussée de 7 m
3 plate-forme de 11 m

■ À 5 M DE LARGEUR

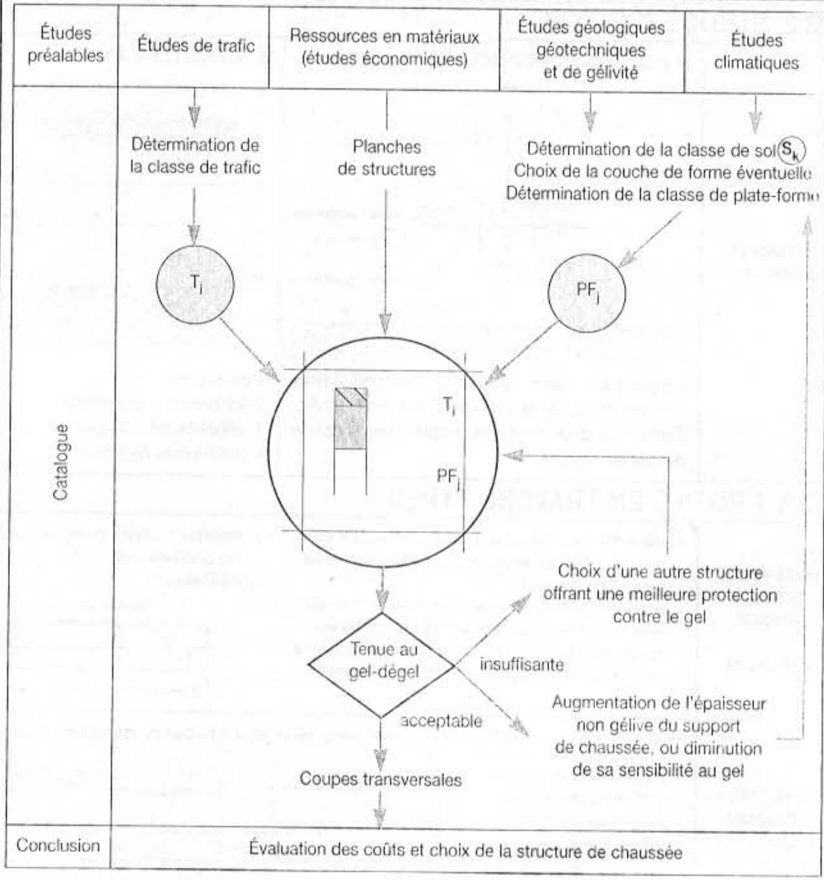
Vr ≤ 60 km/h - Pas de bande d'arrêt

1 accotement de 1 m
2 chaussée de 5 m
3 plate-forme de 7 m



DOC. DIRECTION DES ROUTES

SCHÉMA SYNOPTIQUE DE CONCEPTION



DOC. SETRA / LCPC

CLASSES DE TRAFIC T_i

La classe de trafic T_i est déterminée à partir du trafic poids lourds journalier moyen (PL – MJA) de la voie la plus chargée de la chaussée pendant l'année de mise en service, et dans les hypothèses suivantes :

- les poids lourds sont définis comme les véhicules de charge utile supérieure ou égale à 5 tonnes,
- le taux de croissance géométrique annuel est de 7 %.

Les classes de trafic T_i sont définies de la manière suivante :

classe T_3 : entre 50 et 150 poids lourds
classe T_2 : entre 150 et 300 poids lourds
classe T_1 : entre 300 et 750 poids lourds
classe T_0 : entre 750 et 2000 poids lourds

Si le taux de croissance géométrique prévu par l'étude de trafic est nettement différent de 7 %, on détermine la classe T_i à partir du volume du trafic PL initial fictif qui, avec un taux de croissance de 7 %, conduit sur une période de 15 à 20 années au même nombre cumulé de PL que le trafic réel prévisible.

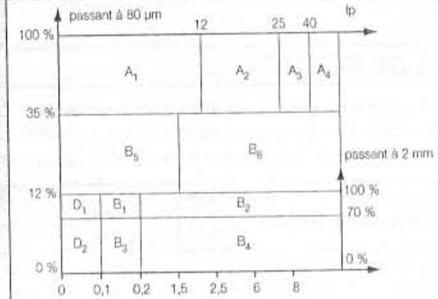
À défaut d'information sur la répartition du trafic lourd par sens de circulation, on supposera le trafic PL équilibré dans les deux sens.

À défaut d'information sur le trafic PL de la voie la plus chargée, on pourra utiliser la règle moyenne suivante :

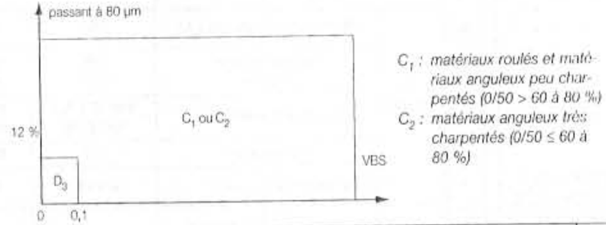
trafic PL sur la voie la plus chargée (MJA) = 1/20 trafic tous véhicules dans les 2 sens (MJA)

CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX

Sols Dmax ≤ 50 mm



Sols Dmax > 50 mm



Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R_1
			Calcaires	R_2
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R_3
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R_4
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R_5
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers		R_6
Matériaux particuliers	Sols organiques et sous-produits industriels			F

DOC. SETRA - LCPC

CLASSES DE SOL

■ CLASSIFICATION GÉOTECHNIQUE DES SOLS

Extrait de la *Recommandation pour les terrassements routiers.*

[A] Sols fins (silts, limons, argiles, etc.)
[B] Sols sableux ou graveleux avec fines
[C] Sols comportant des fines et des gros éléments
[D] Sols et roches insensibles à l'eau (sables et graves propres, matériaux rocheux sains)
[E] Roches évolutives
[F] Matériaux putrescibles, combustibles, solubles, polluants.

Diamètre D du plus gros élément	0%	5%		12%	35% – passant à 80 µm
D < 50 mm	Refus à 2 mm < 30 % : [D_1] Refus à 2 mm > 30 % : [D_2]	Refus à 2 mm < 30 % ES > 35 : [B_1] ES < 35 : [B_2]	Refus à 2 mm > 30 % ES > 25 : [B_3] ES < 25 : [B_4]	Ip < 10 : [B_5] Ip > 10 : [B_6]	Ip < 10 : [A_1] 10 < Ip < 20 : [A_2] 20 < Ip < 50 : [A_3] 50 < Ip : [A_4]
	0%	**5%**		**10 à 20%**	**passant à 80 µm**
D > 50 mm	D < 250 mm : [D_3] D > 250 mm : [D_4]	D < 250 mm : [C_2] D > 250 mm : [C_3]	suivant que la granularité est plus ou moins continue	[C_1]	

CHOIX DE S_K

Classification géotechnique du sol	Classement du sol en vue du dimensionnement de la chaussée
	OPN — -4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4 +5 +6 — Teneur en eau caractéristique du mètre du sol naturel en place (par rapport à l'OPN)
A_1, B_2, B_4, B_5 A_2, B_6 C_1 (fraction < 20 mm), A_3	S_1 ou S_2* — S_1 — S_0
A_4	* Le classement en S_2 ne pourra être envisagé que si l'étude géotechnique montre que l'on est bien dans les conditions requises de teneur en eau : cette possibilité pourra notamment être étudiée en remblai ; en revanche, en déblai, la prudence voudra que l'on n'adopte pas S_2, sauf justification particulière qui devra figurer dans le mémoire « terrassements et chaussées » de l'avant-projet.
B_1, D_1	50 % — 90 % — Degré de saturation caractéristique du mètre supérieur du sol en place. S_2 — S_1 — S_0
B_3	S_2
D_2, D_3, D_4	S_3, si le module EV2 caractéristique (consulter le laboratoire régional des Ponts et Chaussées) est supérieur à 1200 bars, S_2, dans les autres cas. Pour D_3 et D_4, on n'adoptera S_3 qui si la couche de réglage n'est pas susceptible de faire chuter la portance du sol. Les sols D_2, D_3 et D_4 sont en principe insensibles à l'eau : leur portance dépend de leur courbe granulométrique, de l'angularité, etc. On pourra prévoir le comportement de ces sols soit à l'aide de mesures effectuées sur le sol en place ou sur une planche d'essai suffisamment épaisse, soit en tenant compte de l'expérience locale.
Déblais dans le rocher non évolutif	Nécessité d'une couche de réglage visant à respecter les tolérances de nivellement et à homogénéiser la portance. On adoptera la classe S_k du matériau de réglage.
C_2, C_3	Sols se prêtant mal aux mesures. À classer en S_0, S_1 ou S_2 après avoir consulté le laboratoire régional des Ponts et Chaussées.
Matériaux E et F	Apprécier l'évolution probable du sol et le classer en conséquence. Les craies denses ($\gamma_d > 1,7$) comportant au moins 95 % de $CaCO_3$ pourront être classées en S_2 si le gel ne risque pas de les atteindre.

DOC. SETRA / LCPC

DÉTERMINATION DE PF_i

PLATE-FORME NE COMPORTANT PAS DE COUCHE DE FORME TRAITÉE

Classe du sol support	Nature de la couche de forme	Classe de plate-forme
S_1	– Couche de forme (1) de faible épaisseur (au sens de la *Recommandation pour les terrassements routiers* : 20 à 30 cm)	PF_1
	– Matériaux S_2 non traités (2)	PF_2 à partir de 70 cm
	– Matériaux S_3 non traités (3)	PF_2 à partir de 50 cm PF_3 à partir de 80 cm
S_2	– Absence de couche de forme ou couche de forme en matériaux S_2 (2)	PF_2
	– Matériaux S_3 non traités (3)	PF_3 à partir de 50 cm
S_3		PF_3

(1) *Il est peu fréquent de pouvoir se passer d'une couche de forme sur un sol classé S_1.*

(2) *En principe B_3, certains B_4, C_2, D_2, D_3.*

(3) *En principe D_2, D_3.*

PLATE-FORME COMPORTANT UNE COUCHE DE FORME TRAITÉE

Dans tous les cas de traitement d'une couche de forme, une étude de laboratoire est nécessaire pour :

- déterminer le cas échéant la sensibilité au gel du matériau obtenu.
- fixer la nature et le dosage du traitement.

DÉTERMINATION DE LA CHAUSSÉE (cahier des charges DDE)

EXEMPLE : CHAUSSÉE DU TYPE 10

Couche de base : graves – bitume

Couche de fondation : graves – cendres volantes – chaux

	PF_1	PF_2	PF_3
T_0	7 cm BB + 7 cm BBL 15 cm GB 28 cm GCV	8 cm BB 18 cm GB 25 cm GCV	8 cm BB 18 cm GB 22 cm GCV
T_1	8 cm BB 15 cm GB 28 cm GCV	8 cm BB 18 cm GB 25 cm GCV	8 cm BB 15 cm GB 20 cm GCV
T_2	6 cm BB 12 cm GB 25 cm GCV	6 cm BB 12 cm GB 20 cm GCV	
T_3	6 cm BB 12 cm GB 20 cm GCV		

1. Matériaux

BB et BBL : conformes à la *Directive pour la réalisation des couches de surface de chaussées en béton bitumineux* (sept. 1969).

GB : conforme à la *Directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves-bitume et sables-bitume* (sept. 1972).

GCV : conforme à la *Recommandation pour la réalisation des assises de chaussées en graves – cendres volantes – chaux* (en préparation).

2. Le tableau présente les structures nominales (en cm) au bord droit (côté rive) de la voie la plus chargée de la chaussée. Le profil en travers de la chaussée est établi conformément aux indications du chapitre F de la notice d'utilisation du catalogue.

En aucun point, l'épaisseur nominale d'une couche ne doit être inférieure à :

- 12 cm GB
- 15 cm GCV

3. Dans le cas (T_3, PF_1), il est possible de substituer un *enduit superficiel (1)* à la couche de béton bitumineux, à condition de porter à 18 cm l'épaisseur de la couche de base en grave-bitume.

(1) Directive pour la réalisation des enduits superficiels (fév. 1972).

VARIATION D'ÉPAISSEUR TRANSVERSALE

Couches de surface		ΔH = 0 Épaisseur transversale constante	
Dalle de béton, couches de base et de fondation	Chaussée bidirectionnelle à deux voies	ΔH = 0 pour chacune des couches	
	Deux voies dans le même sens de circulation	– Couche de base sous trafic $T_0 - T_1$	ΔH = 0
		– Couche de base sous trafic $T_2 - T_3$	ΔH = 3 cm pour GB ΔH = 5 cm pour GH et SH
		– Dalle de béton	ΔH = 5 cm
		– Couche de fondation (tous trafics)	ΔH = 3 cm pour GB ΔH = 5 cm pour GH, Bm et CV ΔH = 5 cm pour SH (si HND ≤ 30 cm) 6 cm pour SH (30 cm < HND ≤ 35 cm) 8 cm pour SH (35 cm < HND ≤ 40 cm) 10 cm pour SH (40 cm < HND)
	À partir de trois voies dans un même sens de circulation	Étude spéciale	

23.5 PRODUITS

COUCHES DE ROULEMENT

■ ENROBÉS

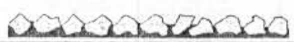
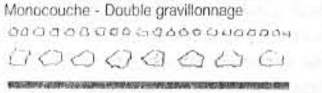
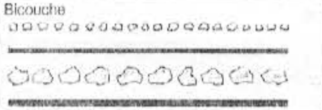
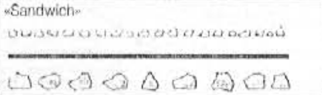
Ils sont constitués de granulats, liant, fines d'apport et dopes (répandus, réglés et compactés).

1. **Enrobés denses à chaud :**
   - enrobés denses (on lui préfère les bétons bitumineux),
   - bétons bitumineux BB 0/10 ou 0/14 (formules semi-grenues plutôt utilisées),
   - bétons bitumineux cloutés (BB + répandage de gravillons),
   - enrobé d'entretien en couche mince de 3 cm en 0,6 ou 3 à 4 cm en 0/10 ou 4 cm en 0/14,
   - enrobés fins : sable enrobé, micro-béton bitumineux (en voirie urbaine).
2. **Enrobés drainants :**
   - confort et sécurité par temps de pluie
3. **Bétons bitumineux** coulés à chaud :
   - étanchéité, entretien, voirie urbaine
4. **Coulis bitumineux :**
   - enrobés coulés à froid (amélioration de la rugosité et de l'étanchéité, utilisé en réparation périodique)
5. **Enrobé pour piste d'aérodrome.**
6. **Enrobés stockables à froid :**
   - travaux de petit entretien
7. **Enrobés spéciaux.**

■ ENDUITS SUPERFICIELS

Ils consistent à répandre une couche de liant avec une rampe à pulvérisateurs, à la couvrir d'une couche de gravillons, puis à cylindrer l'ensemble.

1. **Enduit monocouche :** (le plus économique pour chaussées à trafic provisoire ou faible)
2. **Enduit monocouche double gravillonnage :** (plus résistant que l'enduit monocouche)
3. **Enduit bicouche :** (on le préfère à granulométrie discontinue)
4. **Enduit tricouche :** (peu réalisé car aussi cher qu'un enrobé mince)
5. **Enduit sandwich :** (limite les risques de ressuage)
6. **Préenduit :** (sur chaussée neuve)
7. **Enduit épais :** (améliore la rugosité et limite la fissuration de la chaussée)

Ordre de mise en œuvre de matériaux	Phase d'exécution	État d'usage
2 1	Monocouche 	
3 2 1	Monocouche - Double gravillonnage 	
4 3 2 1	Bicouche 	
3 2 1	«Sandwich» 	

DOC. SFERB

BÉTON

Les bétons destinés aux applications routières se composent de sable, de granulats, de ciment, d'eau et d'adjuvants. Ils se distinguent des bétons de structure par leur mode de mise en œuvre et par les sollicitations auxquelles ils sont soumis. Les règles et les principes qui régissent leur composition sont donc différents.

La mise en œuvre des bétons routiers est très particulière :
- les moyens de serrage sont relativement puissants ;
- l'utilisation des machines à coffrages glissants, dans le cas de projets importants, nécessite un béton de consistance bien définie, adapté à un décoffrage immédiat.

23.6 MISE EN ŒUVRE DES ENDUITS SUPERFICIELS

• Enduits monocouches
1. Balayage de la chaussée
2. Répandage de la couche d'émulsion
3. Épandage de la couche de granulats
4. Cylindrage à pneus

Remise en circulation à vitesse réduite.

• Enduits monocouches double gravillonnage
1. Balayage de la chaussée
2. Répandage de la couche d'émulsion
3. Épandage de la 1[re] couche de granulats
4. Cylindrage à pneus
5. Épandage de la 2[e] couche de granulats
6. Cylindrage final

Remise en circulation à vitesse réduite

• Enduits « sandwich »
1. Balayage de la chaussée
2. Épandage de la 1[re] couche de granulats
3. Répandage de la couche d'émulsion
4. Épandage de la 2[e] couche de granulats
5. Cylindrage à pneus

Remise en circulation à vitesse réduite

• Enduits bicouches
1. Balayage de la chaussée
2. Répandage de la 1[re] couche d'émulsion
3. Épandage de la 1[re] couche de granulats
4. Répandage de la 2[e] couche d'émulsion
5. Épandage de la 2[e] couche de granulats
6. Cylindrage à pneus

Remise en circulation à vitesse réduite

• Pénétration à l'émulsion de bitume
1. Scarification (éventuelle)
2. Nivellement du support (si nécessaire)
3. Approvisionnement des pierres en cordon
4. Épandage des pierres et nivellement de l'assise
5. Arrosage de l'assise avant cylindrage.
6. Cylindrage

Les trois dernières opérations sont répétées pour chaque couche

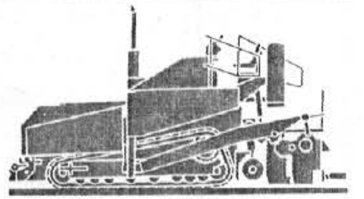
7. Répandage de l'émulsion
8. Gravillonnage
9. Cylindrage

• Les «12 commandements des enduits superficiels»
1. Sur un support mou des enduits tu t'abstiendras.
2. De la circulation poids lourds avant tu enquêteras.
3. Des produits nouveaux les laboratoires tu consulteras.
4. Le support bien à temps tu prépareras
5. Des granulats salés pour l'enduit tu refuseras.
6. Des matériels en état tu utiliseras.
7. Les chantiers importants tu contrôleras.
8. Le dosage en liant tu respecteras.
9. De trop gravillonner tu éviteras.
10. La vitesse de l'usager au début tu limiteras.
11. Au 1[er] septembre les enduits tu cesseras.
12. De tes réussites comme de tes échecs tu informeras.

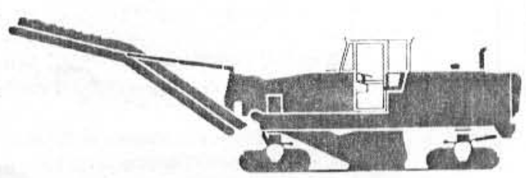
SOURCE : SFERB

23.7 ENGINS ROUTIERS

• Finisseur Demag
- Tracteurs à commande hydrostatique sur pneus ou chenilles.
- Puissances proposées de 42 ch. à 201 ch.
- Largeurs de travail de 1,20 m à 12,50 m.

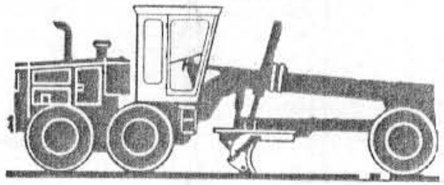


• Fraiseuse Bitelli
- Largeurs de travail de 0,50 m à 2,20 m.
- Puissances de 93 à 700 ch.
- Profondeur de fraisage jusqu'à 34 cm.

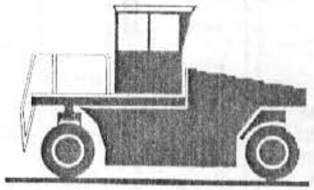


DOC. COGEPREC

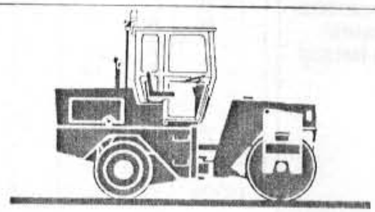
• **Niveleuse champion**
Puissances de 75 ch. à 210 ch.



• **Compacteur à pneus**
Transmission totalement hydrostatique. 3 tonnes ou 5 tonnes par roue. Suspension isostatique par vérin. Sécurité garantie par une grande visibilité avant/arrière.



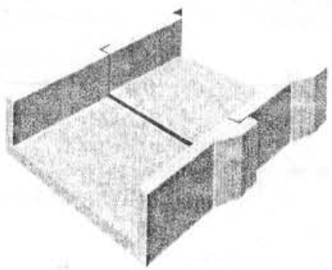
• **Compacteur Bitelli**
Compacteurs vibrants, monobille ou tandem. Transmissions hydrostatiques. Fréquences et amplitudes de variables (VA, V2, V3, V4).



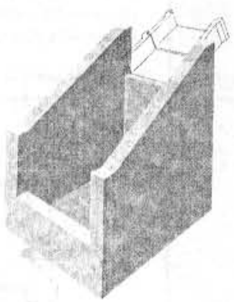
DOC. COGEPREC

23.8 ÉVACUATION DES EAUX DE RUISSELLEMENT

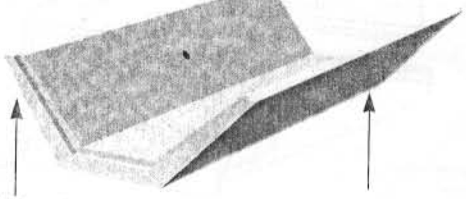
• **Descente d'eau**



• **Tête avant de descente d'eau**



• **Caniveaux de fossés**



les extrémités des caniveaux sont pourvues d'un emboîtement mâle-femelle qui permet un blocage transversal des caniveaux lors du compactage du remblai.

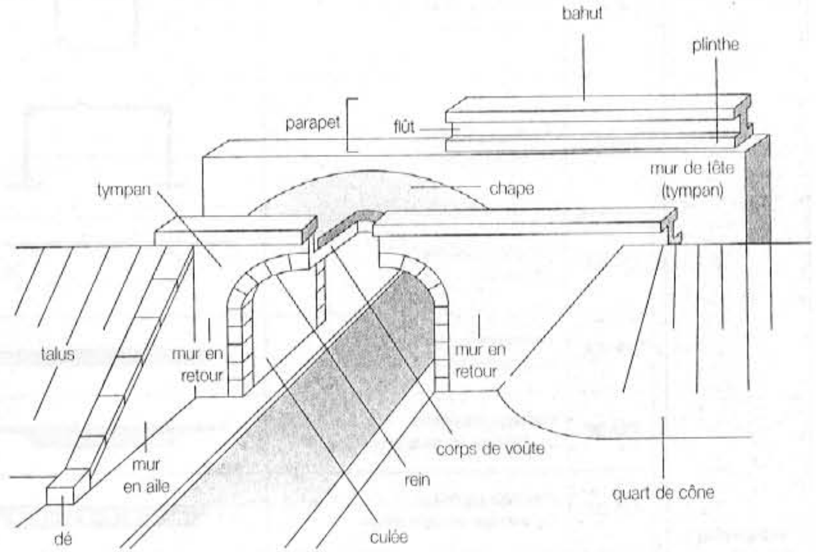
la mise ne place s'effectue au moyen de deux trous de manutention placés au centre de gravité.

Les fossés sont bétonnés lorsque la pente l'exige ou lorsqu'ils sont situés en crête de talus pour empêcher l'eau de s'infiltrer et favoriser le glissement du talus. Le choix entre coulage en place et préfabrication dépend des conditions de chantier (moyens disponibles, longueur, accès au lieu de pose, etc.).

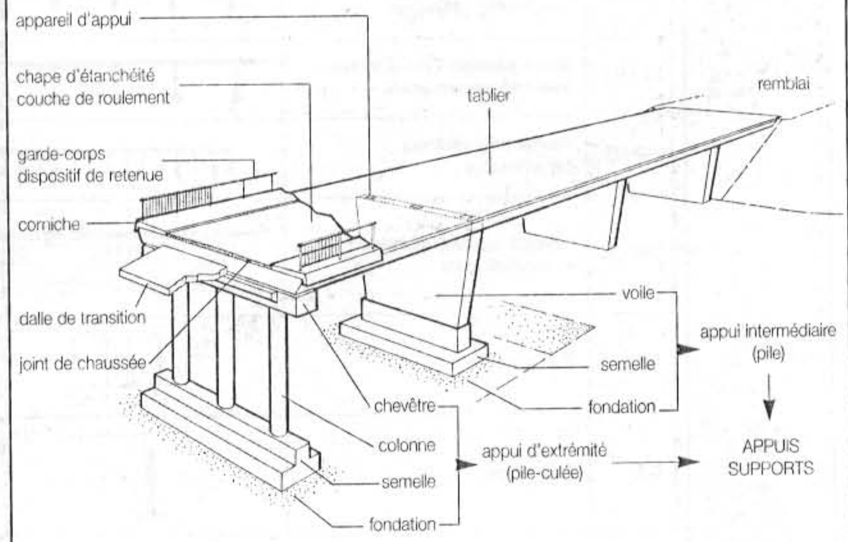
DOC. STRADAL

24 OUVRAGES DE TRAVAUX PUBLICS

24.1 PONTS



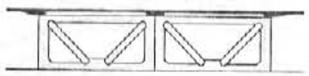
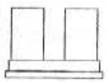
TERMINOLOGIE



DOC. SETRA

RÉPERTOIRE DES DOSSIERS PILOTES USUELS DU SETRA

■ DOSSIERS PILOTES PRINCIPAUX

PI-CF	Passage inférieur en cadre fermé	
PI-PO	Passage inférieur en portique ouvert	
PS-BQ	Passage supérieur à béquilles	
PSI-DA	Passage supérieur ou inférieur en dalle armée	
PSI-DP	Passage supérieur ou inférieur en dalle précontrainte	
PSI-DE	Passage supérieur ou inférieur en dalle élégie	
PSI-DN	Passage supérieur ou inférieur en dalle nervurée	
PSI-BA	Passage supérieur ou inférieur à poutres de béton armé	
VI-PP	Viaduc à travées indépendantes à poutres précontraintes	
PR-AD	Poutres précontraintes par adhérence	
PSI-OM	Passage supérieur ou inférieur en ossature mixte	
P.P.	Piles et palées	
C.T.	Culées types	

DOC. SETRA

DOMAINE COURANT DES PONTS TYPES PRÉDIMENSIONNEMENT DES TABLIERS

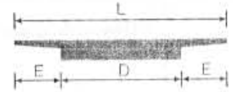
■ LISTE DES DOSSIERS PILOTES DU SETRA

Désignation	Angle de biais minimal	Dimensions transversales (2)		Portées maxi. conseillées			Élancement conseillé						
					2 travées ou plus			2 travées			3 travées ou plus		
									épaisseur variable			épaisseur variable	
	1 grade	E_{max} m	D/L mini	1 travée	épaisseur constante	épaisseur variable	1 travée	épaisseur constante	sur appui	en travée	épaisseur constante	sur appui	en travée
PI-CF	65	–	–	10	–	–	1/25	–	–	–	–	–	–
PI-PO	65	–	–	20	–	–	1/25	–	–	–	–	–	–
PS-BQ	80	selon structure	–	–	–	35	–	–	–	–	–	1/20	1/30
PSI-DA	65	0,2 l (3)	0,5	15	18	–	1/22	1/23	–	–	1/28	–	–
PSI-DP	50	0,2 l	0,5	22	25	–	1/25	1/28	–	–	1/33	–	–
PSI-DE	70	–	–	22	25	35	1/22	1/25	1/20	1/30	1/30	1/24	1/42
PSI-DN	65	0,2 l	0,5	25	35	45	1/22	1/25	1/20	1/30	1/30	1/24	1/42
PSI-BA	65	1,5	–	35	20	–	1/15	–	–	–	1/20	–	–
VI-PP	70	1,5	–	50	–	–	1/17 à 1/22	–	–	–	1/20	–	–
PR-AD	70	–	–	30	–	–	1/20 à 1/22	–	–	–	–	–	–
PSI-OM	60	2	–	80			1/25 à 1/35 (4)						

N. B. : Si le nombre de travées est supérieur à celui indiqué pour chacun des programmes, une adaptation est nécessaire.

(1) Les valeurs minimales indiquées pour l'angle de biais correspondent aux possibilités du programme de calcul automatique ; pour des valeurs inférieures, un calcul complémentaire est à prévoir.

(2)



(3) l : portée biaise la plus longue.

(4) hauteur des poutres seule.

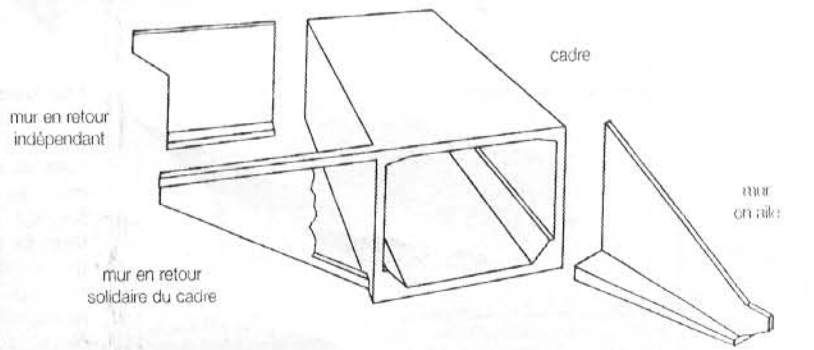
DOC. SETRA

DOMAINE COURANT DES PONTS TYPES

EXEMPLES

■ PI-CF

Il s'agit d'un cadre fermé en béton armé :
- facilité d'exécution,
- robustesse,
- voies de faible largeur (ouverture biaise ≤ 12 m).

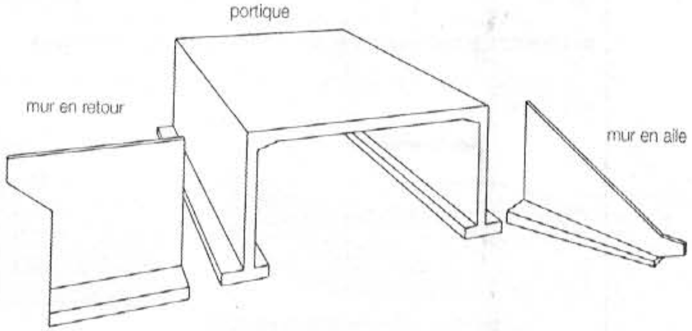


DOMAINE COURANT DES PONTS TYPES

EXEMPLES (suite)

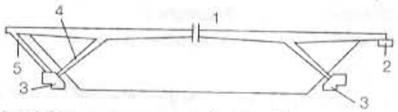
■ PI-PO

Il s'agit d'un portique ouvert en béton armé, d'ouverture biaise : entre 10 et 22 m.



■ PS-BQ

Le pont à béquilles est une structure avec appuis solidaires, à tablier en béton précontraint (dalle pleine, dalle nervurée ou caisson).



1. tablier
2. appui
3. fondation
4. béquille
5. contre-béquille

Ce type de structure permet de franchir des brèches relativement larges sans appuis intermédiaires en dégageant un gabarit important sur une grande largeur et présente un intérêt esthétique certain.

• **dalle pleine**



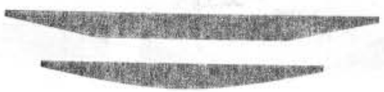
• **dalle nervurée (une ou plusieurs nervures)**



• **caisson**



■ PSI-DP



■ PSI-DA (DALLE BÉTON ARMÉ)

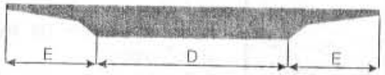
Son domaine d'emploi est le franchissement de routes ou d'autoroutes lorsque la portée biaise la plus longue ne dépasse pas 18 m.

Sections transversales courantes :

- rectangulaire



- avec encorbellement



■ PSI-DE PSI-DN (DALLE ÉLÉGIE OU DALLE NERVURÉE)

Une structure en dalle élégie est caractérisée par la présence de vides longitudinaux dans la masse du béton, ce qui permet un gain appréciable de poids propre ; il en résulte des longueurs de portées plus grandes.

Une structure en dalle nervurée permet également d'accéder à des longueurs de portées plus importantes par le gain d'inertie des sections.



- à nervure



- à deux nervures



DOC. SETRA

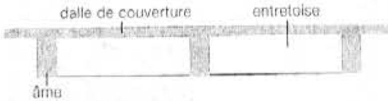
DOMAINE COURANT DES PONTS TYPES

EXEMPLES (suite)

■ PSI-BA

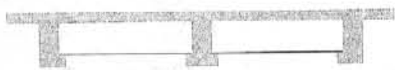
Il s'agit de tabliers constitués de poutres en béton armé associées à une dalle de couverture. Les poutres sont entretoisées. Les travées sont indépendantes ou continues.

- poutres simples



- poutres à talons





■ PR-AD

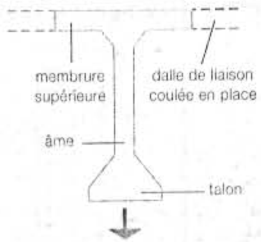
Le tablier de type PR-AD est une travée indépendante réalisée au moyen de poutres précontraintes par fils adhérents, solidarisées par une dalle de couverture coulée en place sur des coffrages perdus non participants.

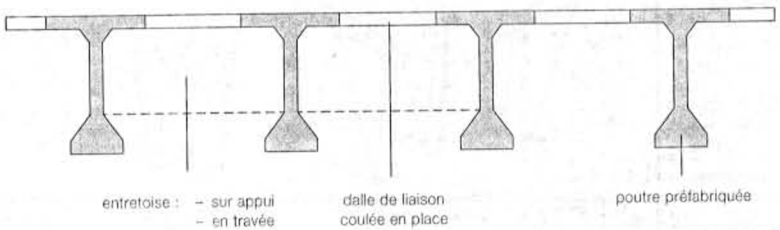
Les poutres ne sont pas entretoisées, sauf à leurs extrémités où sont réalisés des chaînages d'about. Son domaine d'emploi courant de 10 à 25 mètres de portée en fait, notamment, une solution classique pour le franchissement de routes dont la circulation ne peut être interrompue, de lignes de chemins de fer électrifiées et de certains cours d'eau.



■ VI-PP

Le tablier de l'ouvrage est formé de travées indépendantes, constituées chacune par un certain nombre de poutres à talon préfabriquées de hauteur constante, précontraintes par câbles, entretoisées ou non, et reliées entre elles par des dalles en béton armé ou précontraint coulées en place.

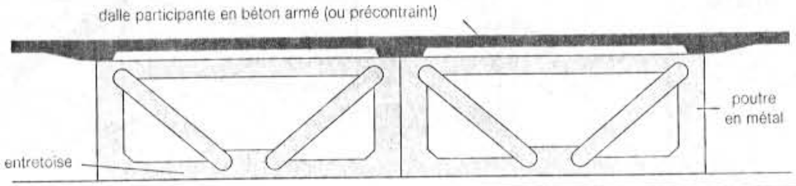




■ PSI-OM

Ce tablier est une structure composite constituée par des poutres métalliques sous chaussée, solidarisées (grâce à des connecteurs) avec une dalle de couverture en béton armé (ou précontraint), de manière à former un ensemble monolithique : les poutres peuvent être de hauteur constante ou variable. Les travées peuvent être indépendantes ou continues.

Ces ouvrages sont souvent mis en œuvre par poussage ou lançage.



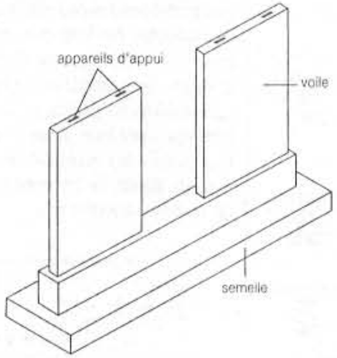
DOC. SETRA

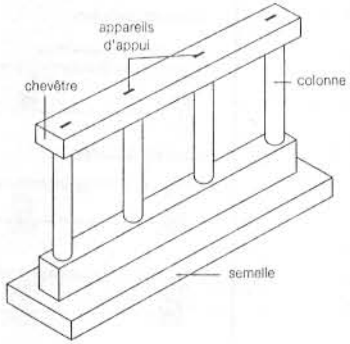
PILES ET PALÉES MODÈLES DU SETRA

PP

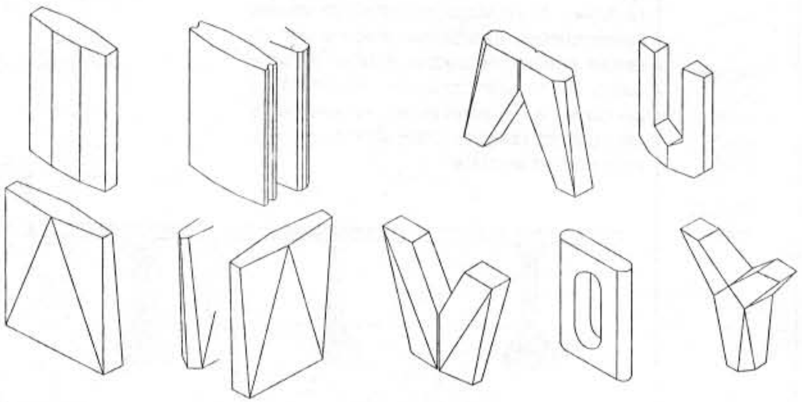
On distingue :

- les piles, qui constituent les appuis intermédiaires des ponts à plusieurs travées continues.
- les piles-culées, qui constituent les appuis d'extrémité, enterrés dans les remblais d'accès (complètement ou partiellement).





- **Variantes élaborées**



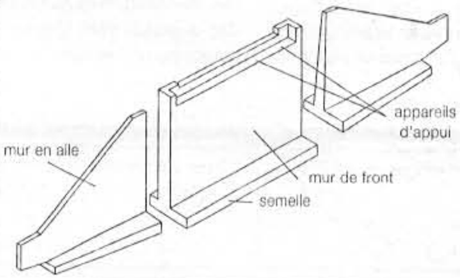
DOC. SETRA

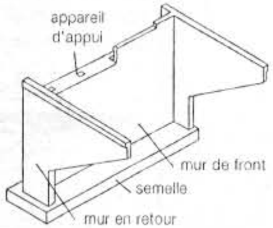
CULÉES MODÈLES DU SETRA

CT

Les culées constituent les appuis d'extrémité d'un ouvrage ; en outre elles assurent le soutènement des terres des remblais d'accès :

- culée avec murs en aile (disposition courante)
- culée avec murs en retour solidaires (disposition courante)





DOC. SETRA

APPUIS

DÉFINITIONS

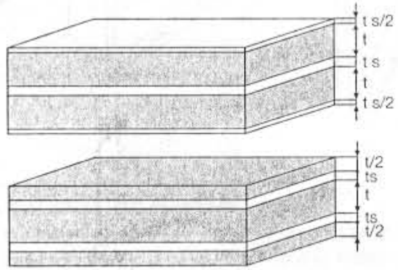
Appui : élément de l'ouvrage qui permet de reporter sur le sol de fondation les actions du tablier.

Appareil d'appui : dispositif de liaison entre l'appui et le tablier de pont.

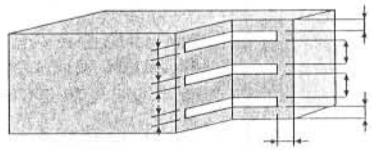
APPAREILS D'APPUI EN ÉLASTOMÈRE FRETTÉ STANDARD

Les appareils d'appui en élastomère fretté réalisent une liaison élastique entre une structure et son support.

Appui semi-enrobé



Appui enrobé



- **Désignations des appareils d'appui**

La désignation est de la forme suivante :

a · b · n (t + e)

Dans ces désignations :

- a et b sont les dimensions en plan de l'appui (a ≤ b),
- n est le nombre de feuillets élémentaires d'élastomère,
- t est l'épaisseur d'un feuillet élémentaire d'élastomère,
- e est l'épaisseur des tôles de frettage intermédiaires.

a, b, t et e sont exprimées en millimètres.

Exemple :

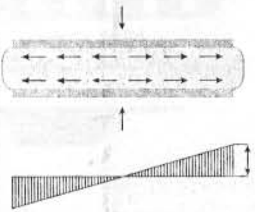
un appareil d'appui 250 × 300 × 3(10 + 3)



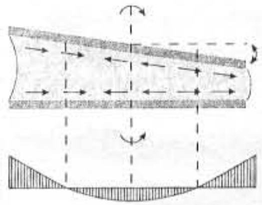
- sa surface est 250 × 300 mm^2,
- il comprend :
  - 2 demi-couches extérieures d'élastomère de 5 mm
  - 2 couches intermédiaires d'élastomère de 10 mm
  - 3 tôles intermédiaires de 3 mm.

- **Sollicitations que doivent supporter les appareils d'appui**

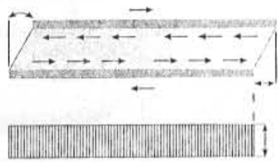
Effort normal



Rotation



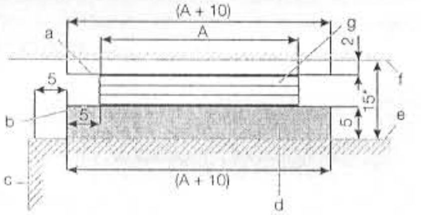
Effort et déformation tangentiels



DOC. SETRA ET FREYSSINET

APPUIS (suite)

• **Disposition type pour l'environnement des appareils d'appui**



a. bossage supérieur
b. face plane et horizontale
c. bord de l'appui
d. bossage inférieur
e. face supérieur de l'appui
f. intrados
g. appareil d'appui

* *peut éventuellement être réduit à 12 cm dans certains cas particuliers*

• **Règles de dimensionnement**

Le bulletin technique n° 4 du SETRA (éd. 74), la notice SNCF EF 9 B2 n° 1 (éd. 79) et les conditions de limitation de contraintes qui correspondent aux règles usuelles de bonne construction précisent les règles de calcul.

Freyssinet International donne un tableau issu de ces calculs pour ses appareils.

a · b	charge max.*	2 (8 + 2)	3 (8 + 2)	4 (8 + 2)			
100 × 150	129	56/68					
100 × 200	196	84/68					
150 × 200	399	173/28	173/42				
150 × 250	504	240/28	240/42				
150 × 300	609	309/28	309/42				
200 × 250	684		390/23	390/23			
200 × 300	827		510/23	510/30			
200 × 350	969		635/23	635/30			
200 × 400	1112		763/23	763/30			
T/hauteur totale		16/20	24/30	32/40			
distorsion maximum		11,2	16,8	22,4			
		3 (10 + 3)	4 (10 + 3)	5 (10 + 3)			
250 × 300	1044	590/22	590/30				
250 × 400	1404	897/22	897/30				
300 × 400	1697	1213/15	1213/20	1213/26			
300 × 500	2132	1670/15	1670/20	1670/26			
300 × 600	2567	2146/15	2146/15	2146/26			
T/hauteur totale		30/39	40/52	50/65			
distorsion maximum		21,0	28,0	35,0			
		3 (12 + 3)	4 (12 + 3)	5 (12 + 3)	6 (12 + 3)	7 (12 + 3)	8 (12 + 3)
350 × 450	2244	1542/16	1542/21	1542/27			
400 × 500	2867		2231/16	2231/20	2231/16		
400 × 600	3452		2904/16	2904/20	2904/16		
450 × 600	3894		3517/13	3517/16	3517/13	3517/13	
500 × 600	4337			4160/13	4160/15	4160/18	4160/21
T/hauteur totale		36/45	48/60	60/75	72/90	84/105	96/120
distorsion maximum		25,2	33,6	42,0	50,4	58,8	67,2
		4 (15 + 4)	5 (15 + 4)	6 (12 + 4)	7 (15 + 4)	8 (15 + 4)	9 (15 + 4)
600 × 600	5222	4416/11	4416/14	4416/17	4416/19		
600 × 700	6107	5568/11	5568/14	5568/17	5568/19		
700 × 700	7142		7063/10	7063/12	7063/14	7063/16	7063/18
T/hauteur totale		60/76	75/95	90/114	105/133	120/152	135/171
distorsion maximum		42	52,5	63	73,5	84	94,5

Première valeur : charge maximum concomittante avec la rotation maximum qui est la deuxième valeur, dans le cas de la distorsion maximum.

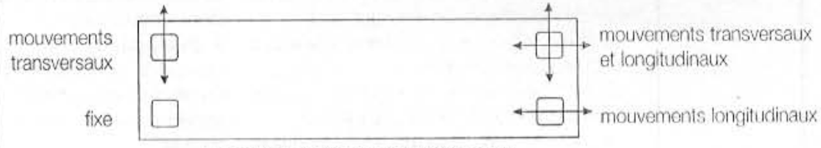
Dimensions en mm
Charges en kN - Rotation en mrad

* *en l'absence de rotation et de distorsion*

DOC. CIPEC, LCPC, FREYSSINET

APPUIS (suite)

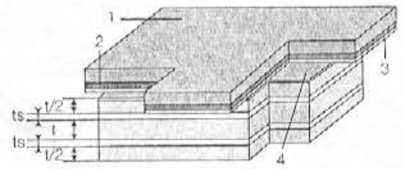
■ MOUVEMENTS POSSIBLES DU TABLIER



vue en plan d'une travée indépendante

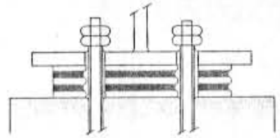
■ AUTRES TYPES D'APPUI

• **Appui glissant**



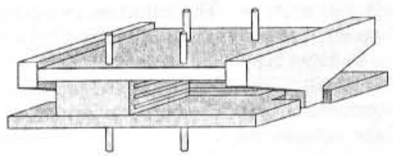
1. acier doux, ép. 8 ou 12 mm
2. élastomère dur, ép. 2mm
3. acier inoxydable, ép. 2 mm
4. feuille de téflon, ép. 1 mm

• **Dispositif anti-soulèvement**

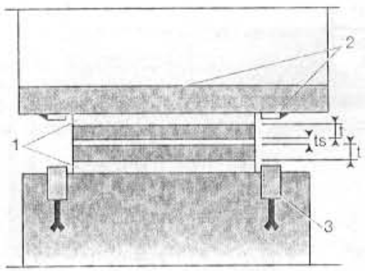


• **Dispositifs à distorsion limitée ou bloquée**

Appareil Hercule



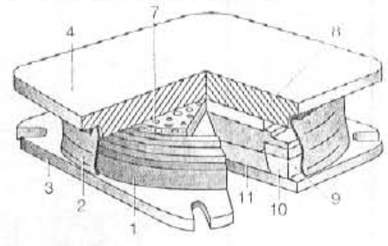
Dispositif anti-acheminement



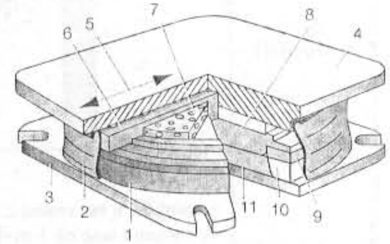
1. frettes extérieures épaisses
2. taquets d'arrêt
3. butées

• **Appareils d'appuis métalliques (à pot)**

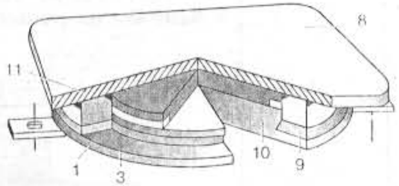
Appui multidirectionnel « Neotopf »



Appui unidirectionnel « Neotopf »



Appui fixe « Neotopf »



1. virole du pot
2. jupe de protection
3. platine inférieure du pot
4. plaque de glissement
5. direction du déplacement
6. clavette de guidage
7. feuille de PTFE alvéolée
8. platine supérieure
9. joint de protection
10. joint d'étanchéité
11. élastomère

DOC. SETRA

Le choix d'un type de joint de chaussée fait référence à une classification fondée sur la notion de robustesse. On distingue ainsi :

- les joints légers, pour un trafic inférieur à 1 000 véhicules par jour,
- les joints semi-lourds, pour un trafic compris entre 1 000 et 3 000 véhicules par jour,
- les joints lourds, pour un trafic journalier supérieur à 3 000 véhicules (ou de volume inférieur, mais à fort pourcentage de poids lourds).

1. Joints légers et semi-lourds

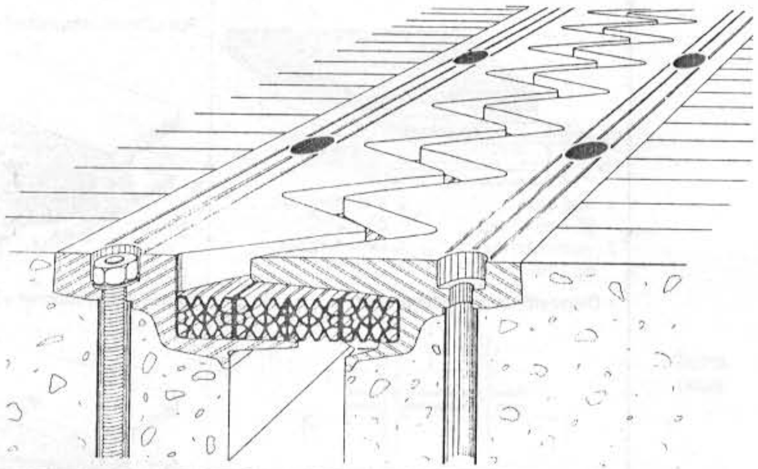
Ils sont réservés aux petits ouvrages situés sur des routes secondaires.

2. Joints lourds

Les joints se composent de deux éléments métalliques indépendants solidarisés aux deux parties d'ouvrage au moyen de tiges précontraintes.

Ils comprennent :

- les éléments métalliques,
- les tiges précontraintes et leurs ancrages,
- un profil élastomère.



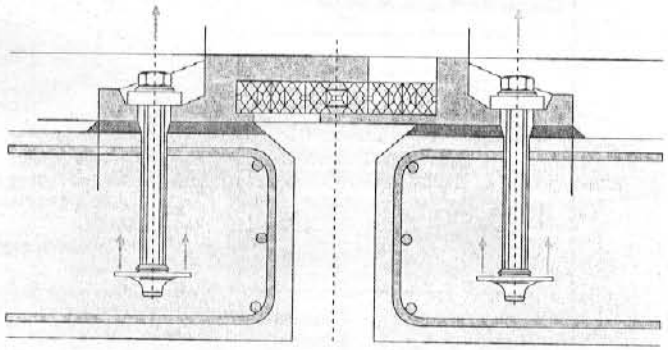
JOINTS DE CHAUSSÉE

■ GAMME CIPEC

• **Joint W.** Il est réalisé à partir d'éléments en aluminium coulé de 1 m de longueur, comportant, en partie haute, des dents de forme triangulaire (sauf ref. W200, W250 et W300).

Sous la denture est prévu le logement d'un profil élastomère qui prévient toute salissure de l'infrastructure. Le réglage des éléments métalliques se réalise à l'aide d'un mortier.

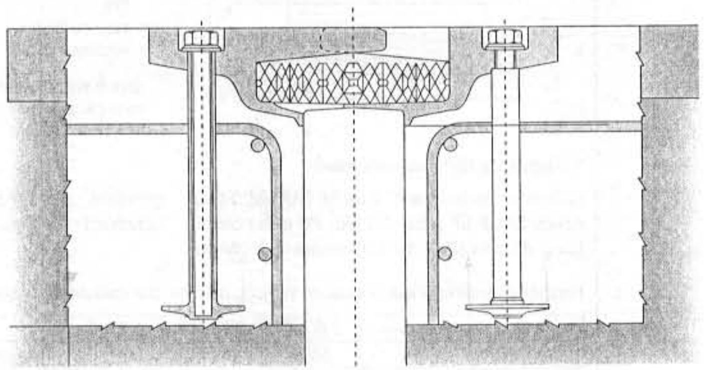
En cas de nécessité, il est possible de placer une gouttière souple pincée entre les éléments métalliques et le mortier.



DOC. CIPEC

• **Joint Wd.** Il est de même conception que le joint W. Toutefois, son installation est plus simple et rapide, car il se pose en une seule fois avec ses ancrages.

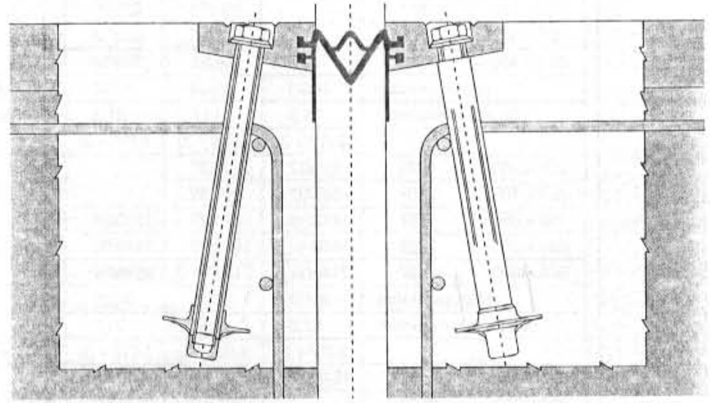
C'est le béton de scellement qui remonte de part et d'autre du joint et fait fonction de matériau de transition. L'accès permanent aux ancrages autorise un démontage rapide.



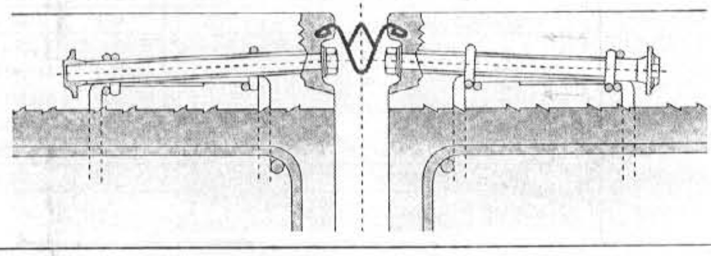
JOINTS DE CHAUSSÉE (suite)

• **Joint WOSd.** Il est particulièrement économique pour trafic lourd et dense. Le joint type WOSd est constitué de deux éléments non corrodables en aluminium filé.

Un profil élastomère extrudé est inséré dans deux rainures d'accrochage disposées symétriquement. Cette conception empêche toute pénétration de corps étrangers.



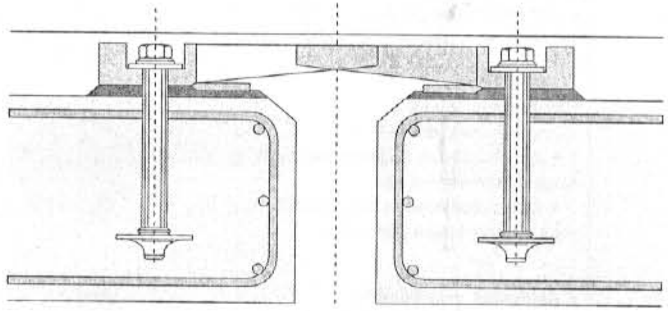
• **Joint WR.** Il se place dans l'épaisseur du revêtement, ce qui constitue un avantage considérable, principalement dans le cas de remplacement de joints existants mais également pour les constructions nouvelles.



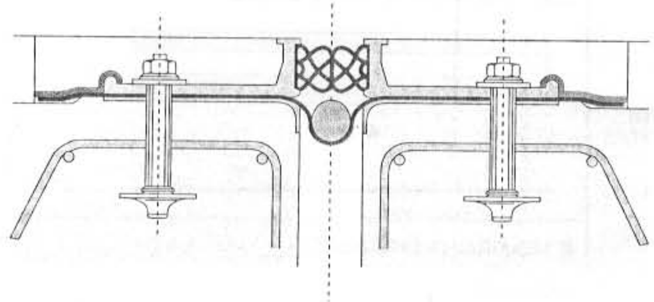
DOC. CIPEC

ÉQUIPEMENTS
DES OUVRAGES
D'ART
JOINTS
DE CHAUSSÉE
(suite)

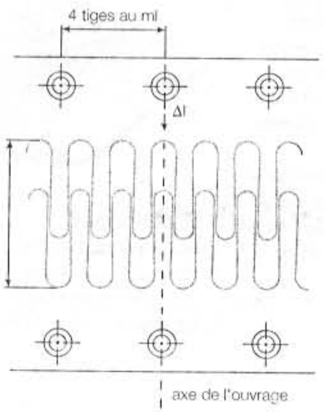
• **Joint WP.** Il est particulièrement économique pour les très grands déplacements. Il est étudié et adapté aux particularités et difficultés de chaque projet.



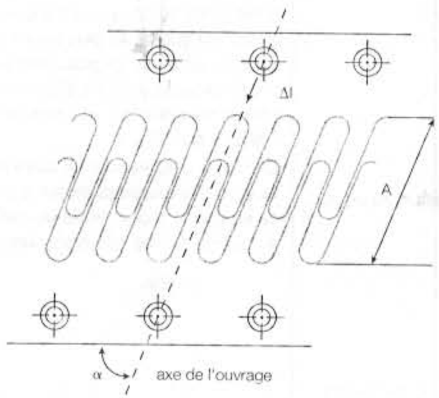
• **Joint de parking CIMAC 25**, conçu pour parking et rampe d'accès, il supporte une circulation de véhicules légers sans limitation de vitesse ou une circulation lente de poids lourds. Son dispositif d'étanchéité est particulièrement efficace.



Fonctionnement droit



Fonctionnement biais

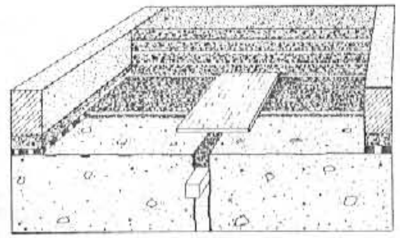


DOC. CIPEC

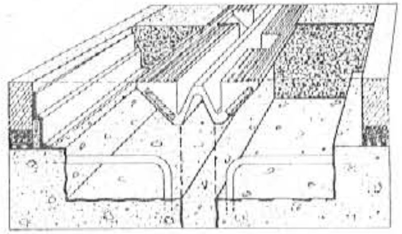
JOINTS
DE CHAUSSÉE
(suite)

GAMME FREYSSINET

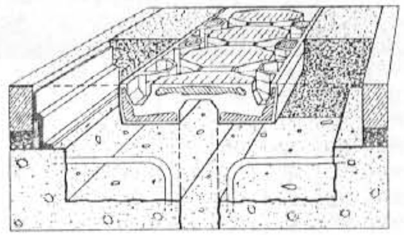
• Viajoint



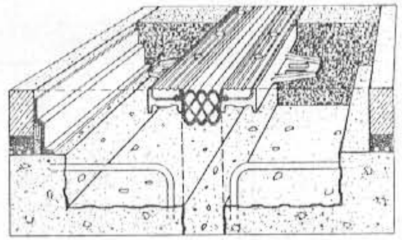
• Joint N



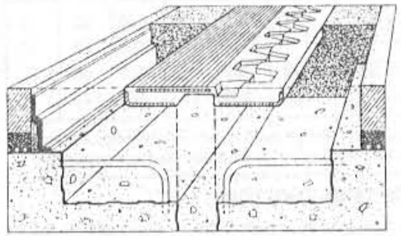
• Joint M

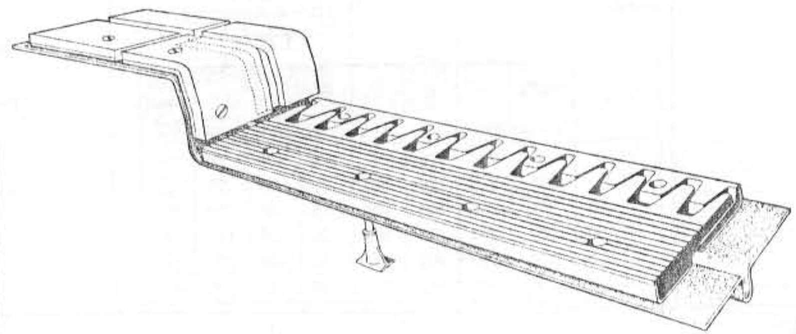


• Joint P



• Joint FT



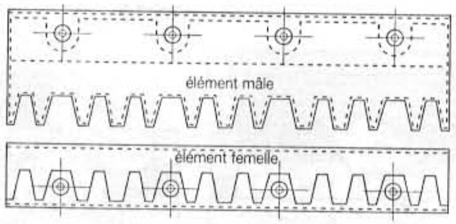


DOC. FREYSSINET

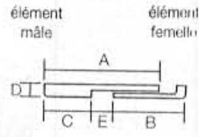
JOINTS DE CHAUSSÉE (suite)

■ CARACTÉRISTIQUES JOINT FT

Vue en plan



Coupe type



type	souffle	A	B	C	D	E (mm)		L	fixations			Poids au ml y compris fixations
									Ø	nb de fixations		
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	mini	maxi	(mm)	(mm)	élément mâle	élément femelle	(kg)
joints FT à dents												
FT 50	50	260	145	115	33	20	70	997	16	4	4	41
FT 75	75	330	190	135	39	20	95	997	16	5	3	53
FT 100	100	410	250	160	47	20	120	747	16	5	3	84
* FT 150	150	576	360	220	50	20	170	747	16	8	8	151
* FT 200	200	750	450	300	50	30	230	497	16	6	6	190
* FT 250	250	910	560	330	57	50	300	497	16	7	6	250
* FT 300	300	920	550	370	90	50	350	497	20	6	4	430
* FT 400	400	1020	650	370	90	50	450	497	20	6	4	470
* FT 500	500	1110	750	370	90	50	550	497	20	6	4	505
joints FT sans dents												
FT 30 SD**	30	155	130	100	22	10	40	997	16	5	5	22
* FT 50 SD**	50	210	155	120	33	20	70	747	14	5	5	52
FT 75 SD**	75	250	190	135	39	20	95	997	16	5	3	50
FT 100 SD**	100	290	250	160	47	20	120	747	16	5	3	84

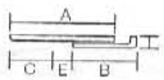
Les éléments mâles de ces joints ne sont pas enrobé d'élastomère, mais protégés par un revêtement granuleux antidérapant.

*** SD signifie sans dents.*

■ JOINTS DE TROTTOIR

Les joints de trottoir sont fabriqués en éléments d'1 m et sont munis de 10 fixations au mètre.

Dispositif de fixation standard : douille « VEMO » n° 1142 et vis Ø 10.

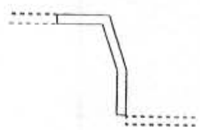


type	souffle	A	B	C	D	E (mm)		Poids au ml
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	mini	maxi	(kg)
JT 50	50	200	100	100	26	20	70	25
JT 75	75	220	120	100	26	20	95	28
JT 100	100	250	150	100	26	20	120	32
JT 150	150	300	200	100	26	20	170	39
JT 200	200	360	260	100	31	30	230	64
JT 250	250	480	310	150	33	50	300	86

■ JOINTS DE BORDURE

Le profil du joint de bordure est toujours adapté à celui de la bordure à équiper.

Coupe type



DOC. FREYSSINET

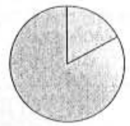
CHAPES D'ÉTANCHÉITÉ

■ ASPHALTE COULÉ

On distingue différents asphaltes :

- **Asphaltes purs**

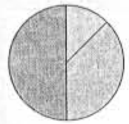
essentiellement destinés aux premières couches des complexes d'étanchéité (toitures-terrasses et ouvrages d'art notamment),



- **Asphaltes sablés**

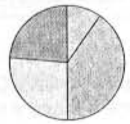
essentiellement destinés :

- aux complexes d'étanchéité (dans ce cas à base d'asphalte naturel),
- à des revêtements courants tels que trottoirs et autres aires piétonnes,

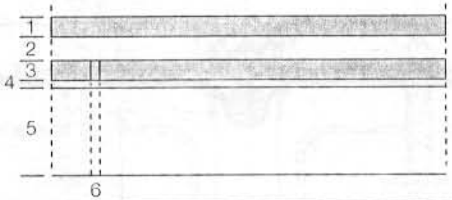


- **Asphaltes gravillonnés**

essentiellement destinés à des couches de protection lourde (étanchéité terrasses ou ouvrages d'art) et d'usure (chaussées, sols industriels).



Étanchéité et couche d'usure sur pont



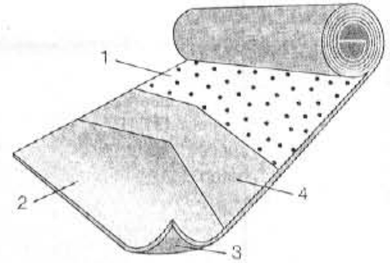
1. couche d'usure
2. couche de liaison
3. étanchéité en asphalte coulé
4. couche de séparation
5. dalle en béton (tablier)
6. évent de décompression

■ MEMBRANES BITUMEUSES

- **Mistral C**

L'étanchéité des ouvrages d'art est souvent assurée par des « membranes d'étanchéité » réalisées pour la plupart à base de bitume. Les chapes d'étanchéité sont fabriquées en usine. Elles se composent d'une armature, simple ou double (le plus souvent un voile de verre ou un feutre en polyester, parfois les deux) surfacée avec du bitume mélangé à une charge minérale très finement broyée appelée « fines » ou « filler ».

Certaines chapes sont en outre revêtues sur la face supérieure de paillettes d'ardoise, de silice ou même d'une feuille de métal (aluminium ou cuivre). On les dits alors autoprotégées.



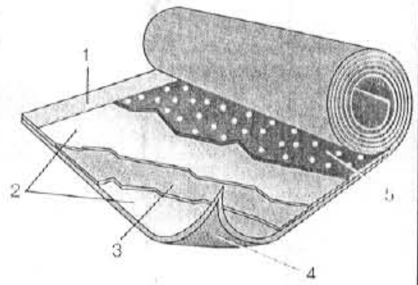
1. protection silice
2. liant imperméable en élastomère-bitume fillérisé
3. film macroperforé assurant une excellente régularité de soudage
4. armature polyester 180 g/m²

DOC. SIPLAST

CHAPES D'ÉTANCHÉITÉ (suite)

• Parafor Ponts

Feuille préfabriquée à base de bitume-élastomère SBS, avec armature en non-tissé de polyester et autoprotection en granulés céramique. Parafor Ponts peut recevoir directement la couche de roulement en enrobé bitumineux.

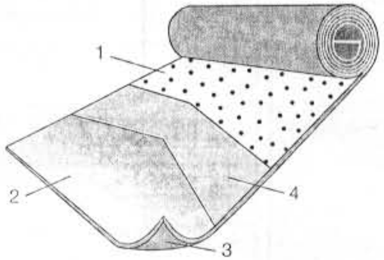


1. bande de soudure
2. liant imperméable en élastomère-bitume fillérisé
3. armature polyester 180 g/m²
4. film thermofusible assurant une excellente régularité de soudage
5. protection en granulés céramique

• Paraforix

La chaussée est construite sur une protection d'étanchéité en asphalte.

- Étanchéité monocouche de tabliers de ponts-routes avec protection en asphalte gravillonné.
- Étanchéité monocouche de parkings avec protection en asphalte gravillonné ou en microbéton bitumineux.



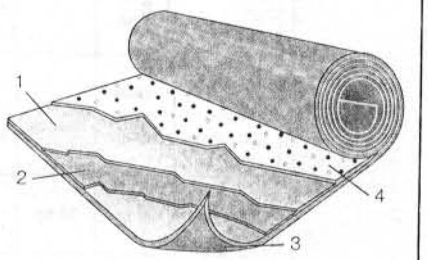
1. protection silice
2. liant imperméable en élastomère-bitume fillérisé
3. film thermofusible
4. armature polyester 180 g/m²

• Teranap 431 TP

Géomembrane à base d'élastomère-bitume SBS, armé d'un géotextile polyester non tissé et revêtu à la face intérieure d'un film polyester antiracine.

La face supérieure est grésée.

Teranap 431 TP (géomembrane) assure l'étanchéité de ponts à voûtes en maçonnerie ou en béton.



1. liant imperméable en élastomère-bitume fillérisé
2. armature en géotextile
3. film polyester en sous-face
4. surfaçage silice

■ MEMBRANES SYNTHÉTIQUES

On rencontre très rarement ce type de membranes sur des ponts.

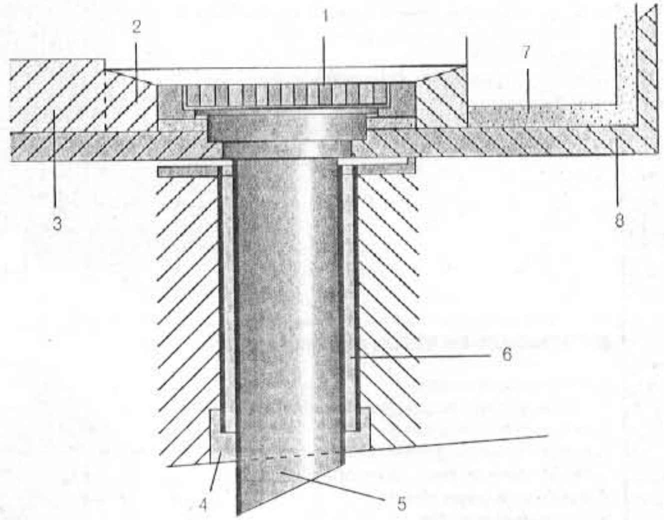
DOC. SIPLAST

ÉVACUATION DES EAUX PLUVIALES

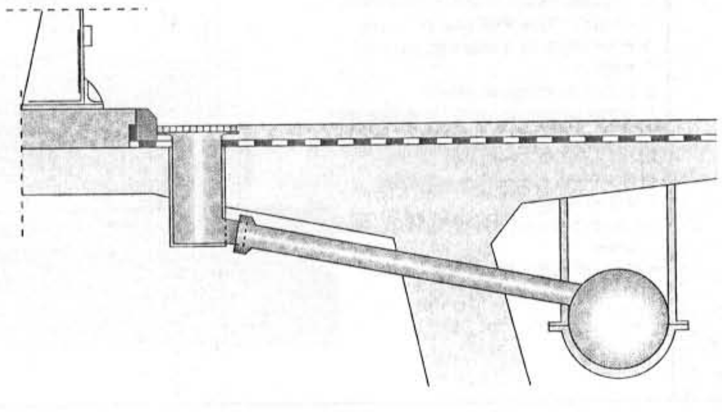
Pour la sécurité des usagers mais également la durabilité de la structure, les eaux sont d'abord recueillies sur un (ou les) côté(s) de la chaussée, puis évacuées par des gargouilles implantées au droit de ce fil d'eau.

- Espacement compris entre 20 et 30 m.
- Diamètre ≥ 10 cm.
- Section totale gargouilles : environ 1/10 000 de la surface versante.

Le recueil de l'eau dans le sens transversal se fait en donnant à la chaussée une pente transversale ou une double pente (valeur courante pente transversale 2,5 %).



1. grille 200 × 200 × 20
2. asphalte coulé porphyré
3. chaussée
4. réservation en polystyrène
5. tube d'acier Ø 100/108
6. manchon en amiante-ciment Ø 125/139
7. mortier de pose de la bordure de trottoir
8. étanchéité



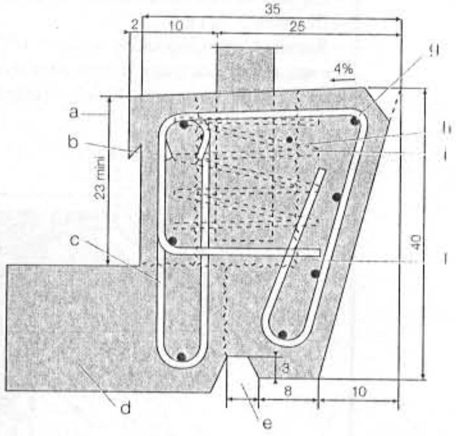
DOC. SETRA

CORNICHES

Les corniches ont essentiellement un rôle esthétique, elles doivent de plus servir de larmier afin d'éviter le ruissellement de l'eau de pluie sur les parements de la structure porteuse. Enfin le garde-corps est le plus souvent scellé dans la corniche.

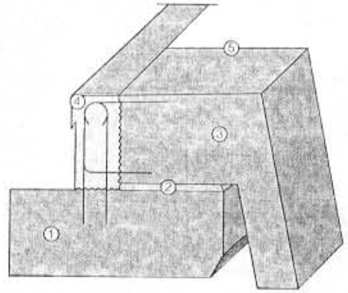
■ CORNICHES EN BÉTON COULÉES EN PLACE

a. hauteur variable permettant le réglage en altitude
b. engravure pour la remontée d'étanchéité
c. épingle Ø 10 Fe E 24 (tous les 20 cm)
d. le ferraillage de la dalle n'est pas représenté
e. largeur variable permettant le réglage latéral
f. cadre Ø 10 Fe E 24 (tous les 20 cm)
g. 6 Ø 10 HA filants
h. 2 broches Ø 6 HA pour la fixation du garde-corps
i. hélice Ø 8, R = 10 cm, pas = 6 cm pour la fixation du garde-corps

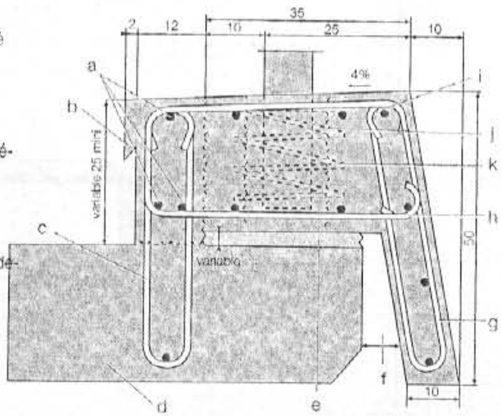


■ CORNICHES EN BÉTON PRÉFABRIQUÉES

Succession des opérations :
1. coulage du tablier avec armatures de liaison
2. mortier de réglage en altitude
3. positionnement des éléments avec mariage des armatures de liaison, liaison provisoire
4. coulage de la contre-corniche
5. calfeutrement des joints



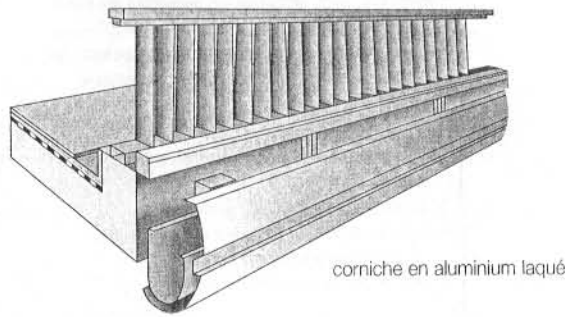
a. 3 Ø 10 HA
b. engravure pour la remontée d'étanchéité
c. épingle Ø 10 Fe E 24 (tous les 20 cm)
d. le ferraillage de la dalle n'est pas représenté
e. mortier de réglage en altitude
f. largeur variable permettant le réglage latéral
g. cadre 8 Ø Fe E24 (tous les 50 cm)
h. cadre Ø 10 Fe E24 (tous les 20 cm)
i. 8 Ø 10 HA filants
j. 2 broches Ø 6 HA pour la fixation du garde-corps
k. Hélice Ø 8, R = 10 cm, pas = 6 cm (pour garde-corps S8)



DOC. SETRA

CORNICHES (suite)

■ CORNICHES MÉTALLIQUES



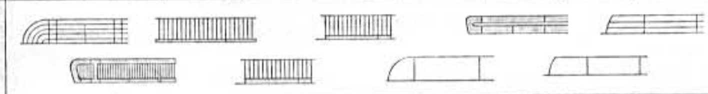
Enrobé drainant 45 mm
Tapiplast 40 mm
Bitume pur : Mobiplast
Mortier : Microplast

DOC. SETRA

N.B. : On voit apparaître des corniches en matériaux composites.

DISPOSITIFS DE RETENUE

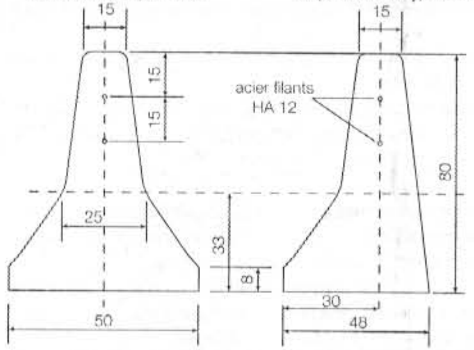
■ TABLEAU RÉCAPITULATIF DES MODÈLES DE GARDE-CORPS

Ouvrage considéré	Garde-corps de série S, piétons admis					Garde-corps de série I, piétons interdits			
Modèles	S 3	S 7	S 8	S 9	S 10	I	I 3	I 4	I 5
Schémas									
Nature des matériaux	acier	acier	acier	alliage d'aluminium	alliage d'aluminium	acier	acier	alliage d'aluminium	alliage d'aluminium
Domaine d'emploi	rural ou sub-urbain sans effort	rural ou sub-urbain	rural, sub-urbain ou urbain trottoir : l < 3,50 m	sub-urbain ou urbain	sub-urbain ou urbain	autoroute hauteur de chute < 6 m	autoroute hauteur de chute > 6 m	autoroute hauteur de chute < 6 m	autoroute hauteur de chute > 6 m
Esthétique, ligne dominante	sobre horizontale	sobre verticale	très sobre verticale	correcte verticale	correcte verticale	très sobre horizontale	sobre horizontale	très sobre horizontale	sobre horizontale
Poids au mètre linéaire	32 kg	34 kg	24 kg	17 kg	19 kg	24 kg	26 kg	7 kg	13 kg

DOC. SETRA

■ SÉPARATEURS BÉTON

Séparateur de type DEA — Séparateur de type GEA

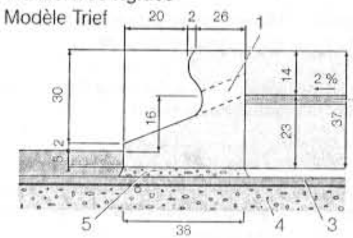


■ GLISSIÈRES

DISPOSITIFS DE RETENUE (suite)

• Glissières rigides

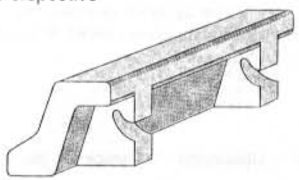
Modèle Trief



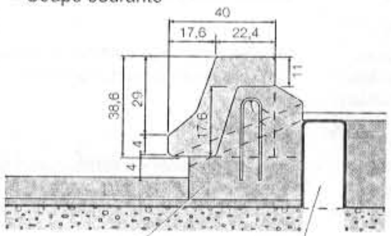
1. trou d'évacuation des eaux Ø 7 tous les m
2. trottoir plein ou contre-bordure
3. étanchéité
4. béton du tablier
5. mortier de pose

Modèle Autonor

– Perspective



– Coupe courante

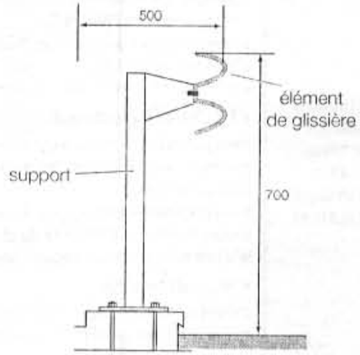


longrine coulée en place

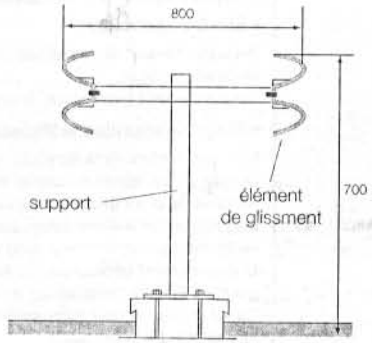
contre-bordure (ou trottoir plein)

• Glissières souples

– Glissière souple simple



– Glissière souple double



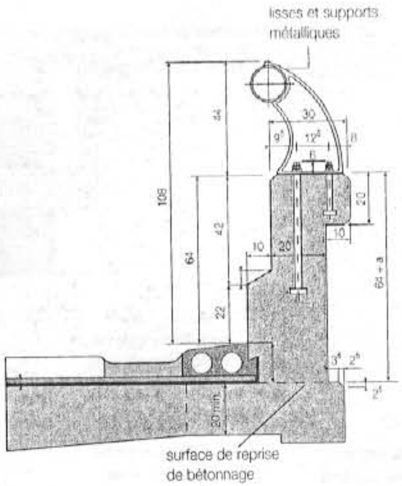
DOC. SETRA

■ BARRIÈRES

DISPOSITIFS DE RETENUE (suite)

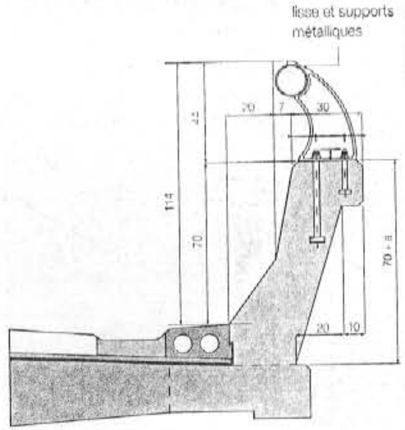
• Modèle BN1

(Muret californien)



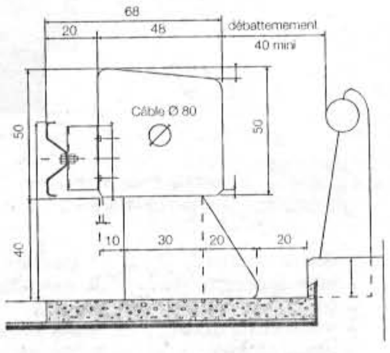
• Modèle BN2

(Muret General Motors)



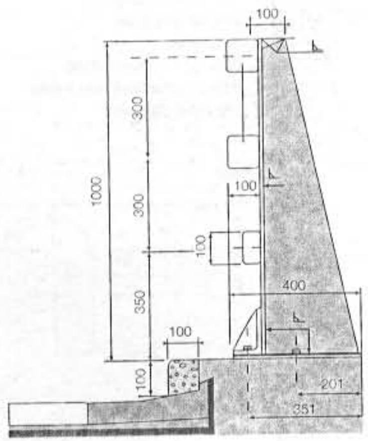
• Modèle BN3

(Barrière Bagnolet)



• Modèle BN4

(Barrière métallique à lisse horizontale)



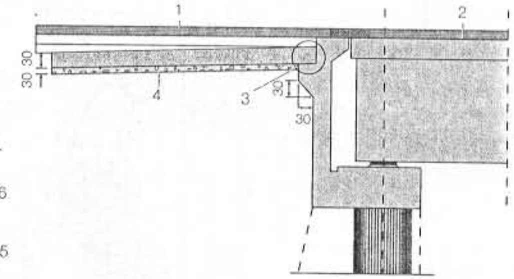
DOC. SETRA

L'intérêt d'une dalle de transition est d'atténuer les effets d'un tassement du remblai à proximité d'un ouvrage.

La dalle de transition permet de traiter le problème en permettant de remplacer le rechargement de chaussée par un «léger reprofilage» qui est exécuté à distance de l'ouvrage.

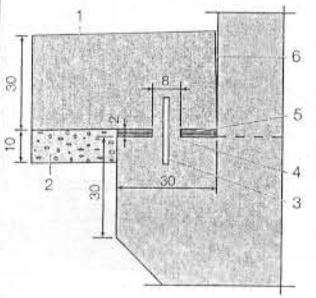
DALLES DE TRANSITION

SUR CHAUSSÉE SOUPLE



1. chaussée : épaisseur et nombre de couches identiques sur ouvrage et sur remblai d'accès
2. étanchéité
3. voir détail ci-contre
4. dalle de transition

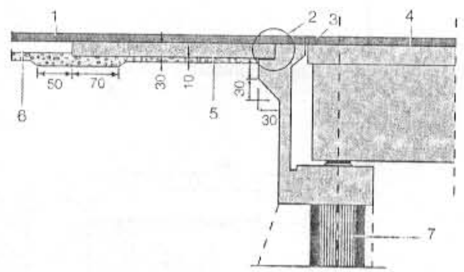
Détail de l'about de la dalle



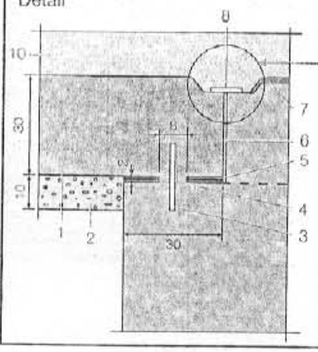
1. dalle de transition
2. béton de propreté
3. goujon Ø 8, e = 20 cm
4. articulation par section rétrécie de béton
5. polystyrène expansé ou isorel mou
6. joint en polystyrène expansé de 1 cm

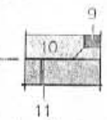
SUR CHAUSSÉE RIGIDE

1. chaussée : épaisseur et nombre de couches identiques sur ouvrage et sur dalle de transition. Exécution en continu.
2. voir détail ci-dessous
3. joint de chaussée
4. étanchéité
5. dalle de transition armée
6. dalle intermédiaire non armée
7. pile culée ou culée



Détail





Disposition type en présence d'un mur garde grève

1. dalle de transition
2. béton de propreté
3. goujon Ø 8 e = 20 cm
4. articulation par section rétrécie de béton
5. polystyrène expansé ou isorel mou
6. joint en polystyrène expansé de 1 cm
7. étanchéité
8. éventuellement, joint léger type 3
9. joint de chaussée
10. chaussée
11. joint ou papier

DOC. SETRA

24.2 TUNNELS

OBJECTIFS

Les reconnaissances et études géologiques doivent donner au concepteur du tunnel les éléments suivants :
- géologie régionale, histoire géologique et tectonique du massif,
- structure du massif,
- inventaire et localisation des accidents (failles, zones fracturées, zones broyées...),
- description des terrains rencontrés selon leur nature pétrographique et minéralogique, selon leurs qualités, selon leurs discontinuités.

On observe alors :

• **état du massif rocheux :**
- fissuration/foliation,
- pendage des couches : altération du massif, homogénéité du massif, propriétés mécanique de la roche.

• **hydrogéologie :**
- reconnaissance des nappes et sources,
- calcul des gradiants hydrauliques et des charges.

• **évaluation des discontinuités :**
- nature, densité, orientation et intervalle entre les discontinuités.

RECONNAISSANCES GÉOLOGIQUES ET GÉOPHYSIQUES PRÉALABLES

ESSAIS GÉOPHYSIQUES ET DIAGRAPHIES

• Gravimétrie

Principe. Mesure des variations de l'intensité de la pesanteur en des points de station avec une précision de l'ordre du $10\ m/s^{-7}$.

Environnement géologique. Tout. Profondeur effective jusqu'à 1 000 m environ. L'intensité du signal décroît avec le carré de la profondeur.

Utilisations. Essentiellement localisation des cavités souterraines naturelles.

Limites. Ne donne pas de mesure directe de la géométrie du massif.

• Résistivité électrique

Principe. Mesure des intensités magnétiques en gammas du champ total, du champ vertical, du champ horizontal.

Environnement géologique. Principalement roches éruptives. L'intensité du champ décroît avec le carré de la distance depuis l'observateur.

Utilisations. Recherche de la présence de corps métalliques (conduites enterrées), failles et intrusions éruptives.

Limites. Ne donne pas de mesure directe de la géométrie du massif.

• Magnétométrie

Principe. Mesure de la conductivité électrique relative des roches en ohm. Prospection linéaire sur des courtes distances.

Environnement géologique. Principalement pour les terrains de couverture et l'eau souterraine. Profondeur effective jusqu'à 1 000 m, dépendant du type de sédiments et de l'appareil utilisé.

Utilisations. Reconnaissance des gisements de minerais. Recherche des nappes, des dépôts graveleux et du substratum rocheux.

Limites. Résultats souvent ambigus.

• Électromagnétique

Principe. Mesure de l'amplitude et de la fréquence électromagnétique.

Environnement géologique. En superficie.

Utilisations. Recherche des nappes.

Limites. Utilisation restreinte et résultats ambigus.

• Magnétotellurique artificielle

Principe. Mesure de la résistivité apparente en comparant les valeurs du champ électrique horizontal et de la composante horizontale du champ magnétique liée à la circulation des courants telluriques émis par un émetteur radio artificiel.

Environnement géologique. Profondeur théoriquement illimitée lorsqu'on fait un « sondage ». Travail en finesse pour recherches superficielles, ou de contacts bien contrastés.

Utilisations. Recherche de cavités superficielles. Cartographie de contacts contrastés.

Limites. Interprétation difficile quand le signal est perturbé par des courants vagabonds, des lignes haute tension, des lignes téléphoniques...

SOURCE : TECHNIQUES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE POUR L'ÉTUDE DES OUVRAGES SOUTERRAINS. (R.V. MOSSMAN [illegible])

RECONNAISSANCES GÉOLOGIQUES ET GÉOPHYSIQUES PRÉALABLES (suite)

• **Sismique réfraction**

Principe. Mesure de la propagation des ondes élastiques émises par un choc (masse ou explosif) : ondes longitudinales (compression et dilatation) et ondes transversales (cisaillement et torsion). Prospections linéaires.

Environnement géologique. Roches sédimentaires, éruptives ou métamorphiques. Profondeur effective jusqu'à 200 m environ selon la longueur des profils.

Utilisations. Recherche du substratum rocheux, de l'épaisseur d'altération. Détection de grands accidents. Corrélation avec les propriétés du rocher (module dynamique...). Application en sondages.

Limites. Impossible de mettre en évidence une couche lente située sous une couche plus rapide, problèmes dus à un fort relief...

• **Sismique réflexion**

Principe. Mesure de l'instant moyen d'arrivée d'une onde réfléchie sur un plan quelconque. Prospection linéaire.

Environnement géologique. Principalement roche sédimentaire. Profondeur de 200 m à illimitée.

Utilisations. Définition des structures profondes, recherche des cavités, localisation des discontinuités. Utilisation particulièrement facile en mer ou sur un lac.

Limites. Étalonnage des vitesses pour détermination de la profondeur.

• **Résumé des diagraphies**

Diagraphies	Principales informations fournies	Appareils
CAROTTAGE ÉLECTRIQUE • Résistivité (normale et latérale)	• Limite des couches • Résistivité des couches	• Dispositif quadripôle
• Polarisation spontanée	• Localisation des niveaux perméables • Résistivité de l'eau	• Sonde de mesure de courants de potentiel
CAROTTAGE RADIOACTIF Naturel • Rayon gamma	• Distinction des couches	• Sonde munie d'un compteur à scintillations
Provoqué • Polarisation spontanée	• Mesures de la densité et porosité des roches	
• Neutron - neutron	• Mesure de la teneur en eau volumique des roches	• Source radioactive plus détecteur
CAROTTAGE SISMIQUE • Log sismique	• Vitesse longitudinale • Amortissement	• Émetteur de choc
• Log sonique	• Vitesse transversale • Amortissement (état de fissuration, porosité)	• Vibration continue

• **Galerie de reconnaissance et essais de laboratoire sur sols et roches**

– constatation de visu.

SOURCES : TECHNIQUES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE POUR L'ÉTUDE DES OUVRAGES SOUTERRAINS. (R.V. MOSSMAN ET G.E. HEIM)

CONSTRUCTION DES GALERIES

■ CYCLE TRADITIONNEL DE CONSTRUCTION

Opération n° 1 : creusement

Il peut être exécuté mécaniquement avec une machine à attaque globale ou ponctuelle (p 27 à 29) ou à l'explosif (p 26). Dans ce dernier cas, on procède d'abord à la perforation (exécution des trous de mines) puis au chargement des trous à l'explosif (abattage, tir).

Opération n° 2 : marinage

Le marinage des déblais est toujours précédé de la purge de la voûte et du front.

Opération n° 3 : soutènement

Le soutènement assurant la stabilité de l'excavation (boulonnage, béton projeté, cintres métalliques) est généralement placé avant de débuter une nouvelle phase d'excavation.

CONSTRUCTION DES GALERIES (suite)

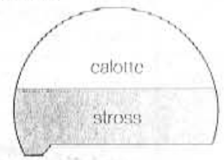
■ TYPES DE CONSTRUCTION

• **Avancement en continu**

Les opérations de creusement, marinage, soutènement sont menées conjointement en quasi-continuité avec l'emploi de machines à attaque globale ou de boucliers.

Le creusement est effectué en pleine section : cette méthode consiste à excaver la totalité de la section du tunnel en une seule fois. Elle est couramment utilisée dans des roches de bonne ou d'assez bonne tenue, lorsque leur section n'est pas trop importante.

• **Avancement cyclique**



Les opérations de creusement, marinage, soutènement sont menées successivement.

a) Le creusement est effectué en pleine section (voir ci-dessus).

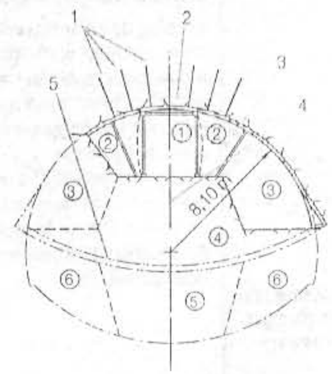
b) Le creusement est effectué par demi-section supérieure :

– dans une première phase, on excave la demi-section supérieure suivant sa forme définitive (la hauteur préliminaire peut aller jusqu'à 5 ou 6 m) : appelée *calotte*,

– dans une seconde phase, on procède à l'excavation de la demi-section inférieure appelée *stross*.

La mise en place du soutènement s'effectue à l'avancement.

c) Le creusement est effectué en sections divisées : il est effectué en plus de deux phases distinctes ; cette méthode longue et coûteuse n'est utilisée que s'il n'est pas possible de faire autrement.

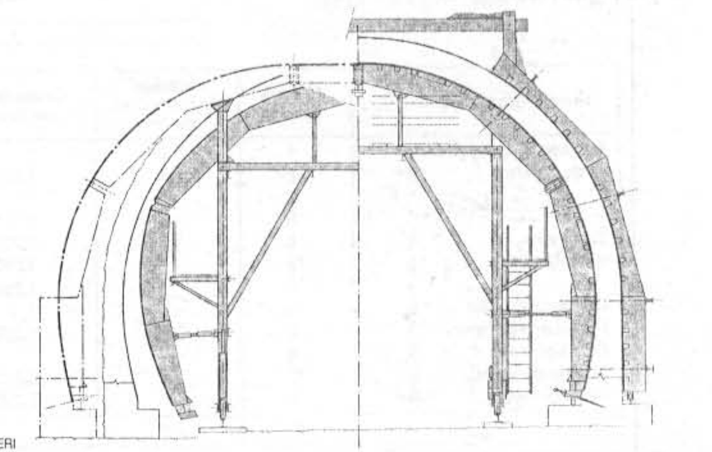


Tunnel autoroutier en mauvais terrain
Excavation en section divisée

1. Si nécessaire confortement complémentaire par ancrages Ø 25 – longueur 2,50 m
2. Cintre HEB 180 et béton projeté (20 cm moyen) plus treillis soudé
3. Si nécessaire, le front d'attaque sera également conforté par béton projeté
4. Merlon central
5. Radier provisoire

DOC. COYNE ET BELLIER

■ COFFRAGE OUTIL POUR RÉALISATION DU REVÊTEMENT INTÉRIEUR



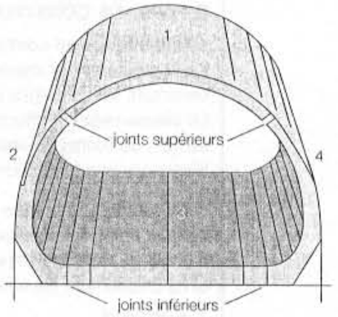
DOC. PERI

CONSTRUCTION DES GALERIES (suite)

■ OUVRAGES PRÉFABRIQUÉS CONSTRUITS EN TRANCHÉE OUVERTE

Conduits « matière »

La structure comprend 4 pièces autostables. Les deux joints inférieurs sont bétonnés après assemblage, assurant une continuité de résistance aux efforts. Les deux joints supérieurs restent libres (articulations).



■ CREUSEMENT À L'EXPLOSIF

Un plan de tir satisfaisant en tunnel doit avoir pour résultat une fissuration minimale du rocher en parements, un découpage du rocher proche du profil théorique (pour limiter les hors-profils) et une fragmentation suffisante des produits de marinage.

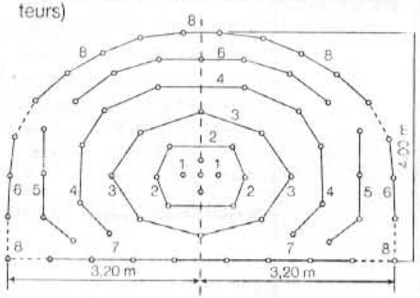
a) La première étape d'un plan de tir consiste à créer une cavité initiale en direction de laquelle on pourra abattre la roche : c'est le rôle du tir du bouchon. Les bouchons ont généralement à trous parallèles.

b) La section est ensuite élargie par étapes successives avec les forages de dégraissage. Enfin on procède au découpage du parement en voûte, piédroits et radier avec les forages de réglage et de relevage.

(La longueur des forages, donc des volées, est généralement limitée à un maximum de 3 ou 4 m, 3 m étant applicable aux tunnels de faible section (20 m^2 ou moins) et 4 m aux tunnels de grande section.

c) Exemple de plan de tir en tunnel

(Les numéros indiquent les retards des détonateurs)



Caractéristiques de la volée :

Forage : Ø 42 mm, sauf le trou central du bouchon avec Ø 127 mm, longueur de la volée : 2,70 m

Explosif : gomme Ø 25 × 250 g

Nature des détonateurs : retards ordinaires

Bourrage : argile

Densité de charge : 77/(2 × 2,7) 1,3 kg/m

Numéro des retards		Nombre de trous	Nombre de cartouches par trou	Charge unitaire par trou (kg)	Charge totale (kg)
Trou central du bouchon		1	0	0	0
Tir du bouchon	0	2	5	1,250	2,5
	1	2	4	1	2
	2	6	5	1,250	7,5
Forages de dégraissage	3	8	5	1,250	10
	4	10	5	1,250	12,5
	5	8	5	1,250	10
Dégraissage voûte	6	7	4	1	7
Découpage piédroits	6	6	5	1,250	7,5
Relevage radier	7	8	4	1	8
Découpage voûte	8	10	3	0,750	7,5
Relevage radier	8	2	5	1,250	2,5
Total		70	308		77 kg

CONSTRUCTION DES GALERIES (suite)

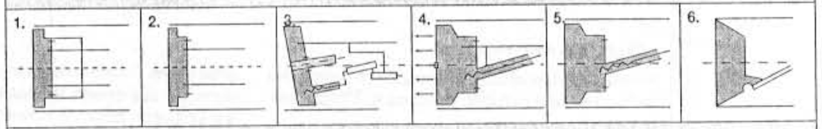
■ CREUSEMENT MÉCANIQUE

• **Machine à attaque globale** (tunnelier ou *Tunnel Boring Machine* – TBM)

Elle possède à l'avant un plateau circulaire, d'un diamètre sensiblement égal à celui de la galerie, appelé tête de forage ou bouclier, qui porte les outils de creusement du terrain.

Il existe des boucliers à pression d'air, de boue ou de terre :

Caractéristiques des boucliers MBM–type fermés

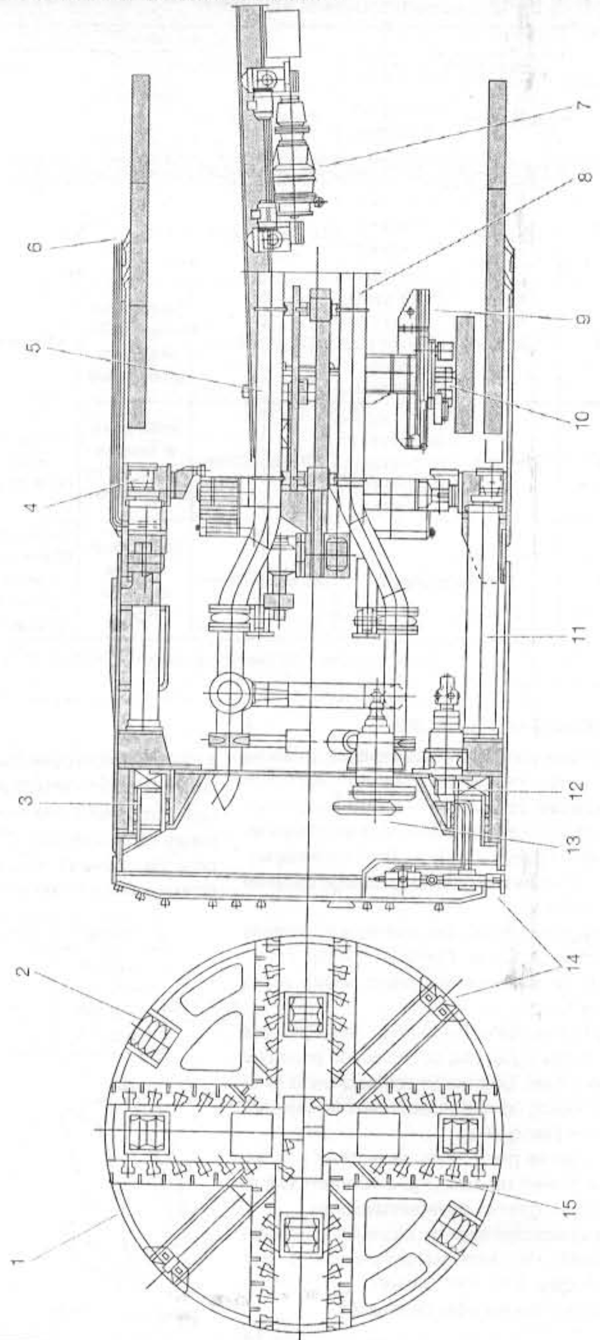


Structure du bouclier					
1.	2.	3.	4.	5.	6.
Procédé					
Type : Pression de boue				Type : Pression de terre	
Nom du type					
Bouclier à pression de boue		Bouclier à boue de forte densité	Bouclier à boue sous pression	Bouclier à pression de terre	Bouclier aveugle
Caractéristiques du sol					
% de fines – argiles					
20 % approx.	10-15 %	10-15 %	0-5 %	> 20 %	> 70 %
perméabilité					
10^{-3} cm/sec	10^{-3} – 10^{-2} cm/sec	10^{-3} – 10^{-2} cm/sec	10^{-2} – 10^{0} cm/sec	10^{-5} – 10^{-3} cm/sec	10^{-5} – 10^{-4} cm/sec
N					
← 0-50 →				0-15	0-2
ϕ					
← 0-45° →				0-30°	0-12°
Méthode de stabilisation du front					
Pression de la boue et du disque		**Pression de la boue, des matériaux dans la chambre et du disque**	**Pression des matériaux dans la chambre et du disque**	**Marin remplissant la chambre** (disque et cloison étanche)	**Marin remplissant la chambre**
P = pression nappe + α	P = pression nappe + terrain + α				
Équilibrage de la pression de nappe par de la boue lourde et visqueuse obtenue par un mélange de fine du terrain et de la boue injectée dans la chambre.	Équilibrage de la pression de nappe par de la boue lourde et visqueuse injectée dans la chambre. Matériau de colmatage et d'imperméabilité ajouté quand la perméabilité du terrain croît.	Équilibrage de la pression de nappe et du terrain par un remplissage de la chambre autant que possible. La partie supérieure du front est stabilisée par la boue.	Équilibrage des pressions de nappe et terrain en remplissant la chambre d'un marin très fluide obtenu par injection de boue devant le disque en contrôlant la pression dans la chambre. La partie supérieure du front est stabilisée par la boue.	Équilibrage des pressions nappe et terrain par un marin très fluide obtenu par l'effet de mélange du disque de coupe	Équilibrage des pressions nappe et terrain par le matériau creusé de forte viscosité. La pression du sol est contrôlée par réglage de la section de l'orifice de décharge

DOC. FCB

CONSTRUCTION DES GALERIES (suite)

MBM – Type fermé à pression de boue



1. disque de coupe.
2. molette.
3. joint avant.
4. patin vérin.
5. alimentation.
6. joint de queue.
7. palan à voussoirs.
8. extraction.
9. érecteur.
10. voussoir.
11. vérin de poussée.
12. roulement avant.
13. agitateur.
14. système surcoupe.
15. outils de coupe.

CONSTRUCTION DES GALERIES (suite)

Choix d'un bouclier en fonction du comportement mécanique du terrain (hors nappe)

Nature du terrain	Boucliers ouverts		Boucliers rotatifs		Stabilisation du front	
	à fraise	à bras excavateur	plateau ouvert	plateau fermé	à bentonite	à sol confiné
Marnes sableuses ou argileuses – sables marneux	3	2	1	2	2	2
Alluvions graveleuses, sables argileux	2	1	1	2	2	1
Argile – sables fins argileux	1	2	2	1	1	2
Silts ou vases peu consolidés – sables fins sans cohésion	3	3	3	1	2	2
Terrain hétérogène (blocs emballés)	2	1	3	3	2	3

Choix d'un procédé de stabilisation du front en fonction de l'hydrogéologie dans un sol ou une roche meuble

Charge hydraulique au-dessus du radier H en m	Perméabilité du massif K en m/s	Bouclier			Traitement préalable		
		air comprimé	bentonite	sol confiné	injections	congélation	rabattement de nappe
H < 30 m	$K < 10^{-6}$	1	2	1	2	2	3
	$10^{-6} < K < 10^{-4}$	2	1	1	1	1	2
	$K > 10^{-4}$	3	2	1	1	2	1
H > 30 m	$K < 10^{-6}$	2	2	1	2	2	3
	$10^{-6} < K < 10^{-4}$	3	3	2	1	1	3
	$K > 10^{-4}$	3	3	3	1	2	3

1 : méthode recommandée   2 : méthode possible   3 : méthode très mal adaptée

- **Machine à attaque ponctuelle**

La tête munie des pics d'abattage est située à l'extrémité d'un bras mobile porté par un châssis automoteur sur chenilles.

Ces machines doivent :
- se limiter à l'excavation des roches de dureté moyenne,
- se déplacer pour balayer tout le front de taille.

Elles laissent libre l'accès au front.

Elles peuvent :
- attaquer le front à l'endroit choisi,
- terrasser une section de forme quelconque visible en permanence.

SOUTÈNEMENT DES GALERIES

On peut les classer en deux catégories principales :

– les soutènements agissant **par supportage**, comme les cintres métalliques, les voussoirs, les tubes perforés (voûte parapluie), les boucliers ;

– les soutènements agissant **par confinement**, comme le béton projeté et les boulons.

SOUTÈNEMENT DES GALERIES (suite)

■ RECOMMANDATIONS

Exemple de recommandations de l'AFTES relatives au choix du type de soutènement en fonction de la valeur des paramètres décrivant les discontinuités

• **Matériaux rocheux (R1 à R4)**

Discontinuités (Cas où l'excavation est faite à l'explosif avec découpage)		Nombre de familles / Orientation / Espacement (1)	N1	N2 / Or2 ou Or3 / S1 à S3	N2, N3 ou N4 / quelconque / S1	S2	S3	S4	S5	N5
Pas de soutènement										
Béton projeté										
Boulons	à ancrage ponctuel						Gr	Gr ou Bp		
	à ancrage réparti						Gr	Gr ou Bp	Bp	Bp
	Barres lancées									
Cintres	lourds							Bl ou Bp	Bl ou Bp	Bl ou Bp
	légers coulissants							Bl ou Bp	Bl ou Bp	Bl ou Bp
Voussoirs	Plaques métal assemblées									
	Béton									
Tubes perforés										
Bouclier ou pousse tube										
Procédés spéciaux	injection									
	air comprimé									
	congélation									

(1) Pour la famille la plus dense.
(2) Scellement au mortier de préférence à la résine lorsque les fissures sont ouvertes.

Gr Avec grillage continu Bp Avec béton projeté Bl Avec blindage bois ou métallique

soit particulièrement recommandable (nettement favorable).

soit possible à condition que des critères soient particulièrement favorables (plutôt favorables).

soit très mal adapté bien qu'éventuellement possible (plutôt défavorable).

soit en principe impossible (nettement défavorable).

Remarque : Sols (R5 et R6) sans objet.

SOUTÈNEMENT DES GALERIES (suite)

Recommandations d'avant-projet sommaire du soutènement d'après Z. Bieniawski (tunnels de 5 à 12 m de portée, excavés à l'explosif)

Classe de la roche	Type de soutènement – Boulons d'ancrage (1): Espacement	Complément d'ancrage	Béton projeté: Voûte	Piédroits	Complément de soutènement	Cintres métalliques (2): Type	Espacement
1	Généralement pas nécessaire						
2	1,5-2,0 m	Occasionnellement treillis soudé en voûte	50 mm	Néant	Néant	Non rentable	
3	1,0-1,5 m	Treillis soudé + 30 mm de béton projeté en voûte si nécessaire	100 mm	50 mm	Occasionnellement treillis et boulons si nécessaire	Cintres légers	1,5-2,0 m
4	0,5-1,0 m	Treillis soudé + 30-50 mm de béton projeté en voûte et en piédroits	150 mm	200 mm	Treillis soudé et boulons de 1,5 à 3 m d'espacement	Cintres moyens + 50 mm de béton projeté	0,7-1,5 m
5	Non recommandé		200 mm	150 mm	Treillis soudé boulons et cintres légers	Immédiatement 80 mm de béton projeté puis cintres lourds à l'avancement	0,7 m

(1) Diamètre des boulons : 25 mm, longueur : 1/2 diamètre du tunnel, scellement réparti à la résine.
(2) Voir ci-dessus.

■ CINTRES MÉTALLIQUES

Les cintres constituent une ossature en forme d'arc ou de portique disposée selon la section transversale du tunnel. Les cintres les plus utilisés en travaux souterrains sont les cintres en profilés métalliques HEB ou TH. Il est indispensable de veiller à la qualité du blocage du cintre avec le terrain.

L'espacement entre les cintres est compris entre 0,8 et 1,5 m. Parmi les cintres métalliques, on distingue les cintres légers et les cintres lourds.

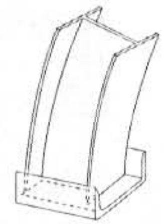
• **Cintres métalliques légers :** ils ne peuvent être utilisés qu'au titre de protection provisoire du personnel. Leur inertie est insuffisante pour qu'ils jouent un rôle majeur dans le soutènement de l'excavation.

Pour mise en place facile, les réserver :
- aux tunnels de petit Ø (5 à 10 m excavé) et dans les galeries de reconnaissance ;
- en association avec les ancrages et le béton projeté ; le cintre est alors suspendu aux ancrages. Son rôle consiste à répartir les efforts entre les têtes de boulons.

• **Cintres métalliques lourds :** ils sont conçus comme un soutènement par supportage.

Leur forte inertie leur permet de stabiliser les parois de l'excavation. Chaque cintre se compose de plusieurs éléments (de deux à une dizaine suivant les dimensions de la galerie).

Profilé	Diamètre du tunnel
HEB 120	2,5 à 5 m
HEB 140	4 à 8 m
HEB 180	7 à 10 m
HEB 220	9 à 12 m

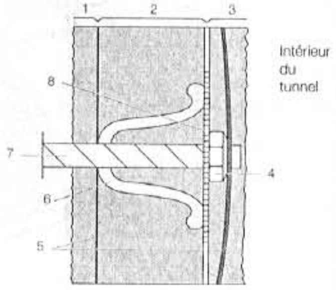

profilé en U soudé


platine soudée

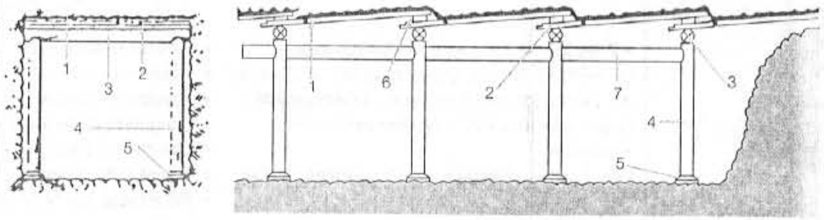
SOUTÈNEMENT DES GALERIES (suite)

Détail de mise en œuvre

1. 1re couche de béton projeté 3 cm
2. 2e couche de BP 12 cm
3. 3e couche de BP
4. écrou de serrage
5. treillis soudé maille 15 x 15 Ø 5
6. cintre
7. barre d'ancrage
8. plaque de répartition



Cadre de boisage



1. enfilage
2. faux chapeau
3. chapeau
4. jambe
5. semelle
6. coin
7. étrésillon

■ VOUSSOIRS

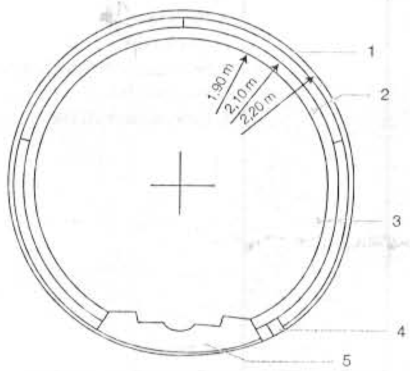
Les voussoirs préfabriqués constituent des anneaux circulaires faisant fonction de soutènement et/ou de revêtement définitif.
Les voussoirs assurent l'appui de la machine à attaque globale lui permettant de forer le terrain, et le soutènement des parois du tunnel immédiatement à l'arrière.

Le vide annulaire entre la paroi de l'excavation et l'extrados des voussoirs est comblé par injections de bourrage.
Un anneau de voussoirs comporte six à dix voussoirs, dont un voussoir de clé et le complément en voussoirs courants.

• **Voussoirs béton**

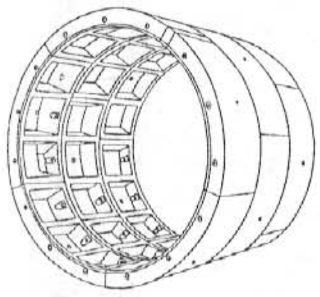
Exemple de revêtement provisoire en voussoirs préfabriqués (L.E.P., Genève)

1. Ø excavation 4,50 m
2. voussoirs préfabriqués (e = 0,10m)
3. béton coffré (e = 0,20 m)
4. clé
5. voussoirs de radier

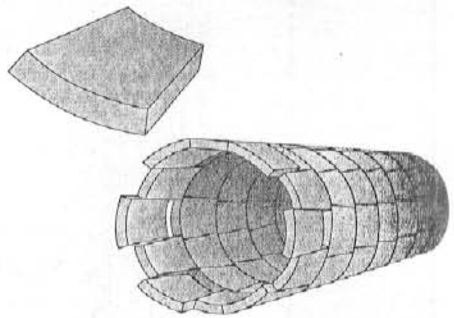


SOUTÈNEMENT DES GALERIES (suite)

Voussoirs nervurés de type britannique (Kinnear-Moodie)

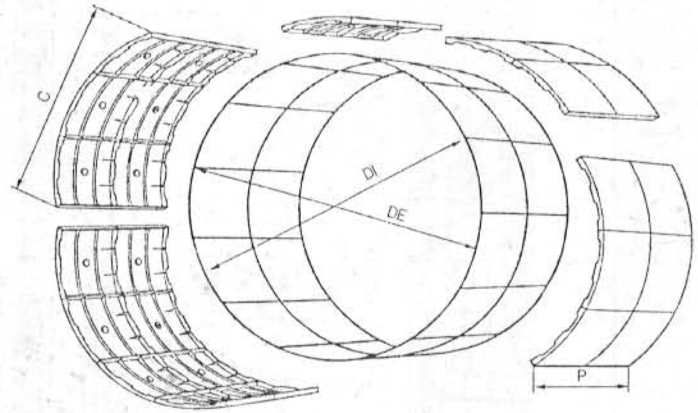


Voussoirs trapézoïdaux (type DON-SEG, GB)



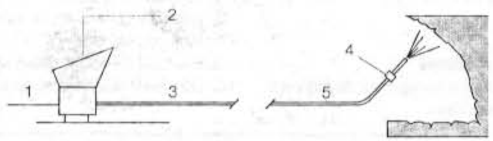
• **Voussoirs métalliques**

Voussoirs préassemblés (Pont-à-Mousson)



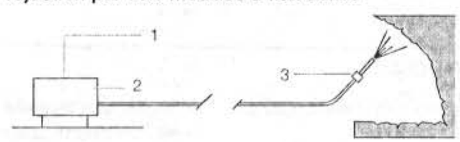
■ BÉTON PROJETÉ ET BOULONS D'ANCRAGE

• **Projection par voie sèche**



1. air comprimé
2. granulats, ciment, accélérateurs en poudre
3. mélange d'un flot d'air
4. eau
5. adjuvants éventuels

• **Projection par voie mouillée à flux dense**



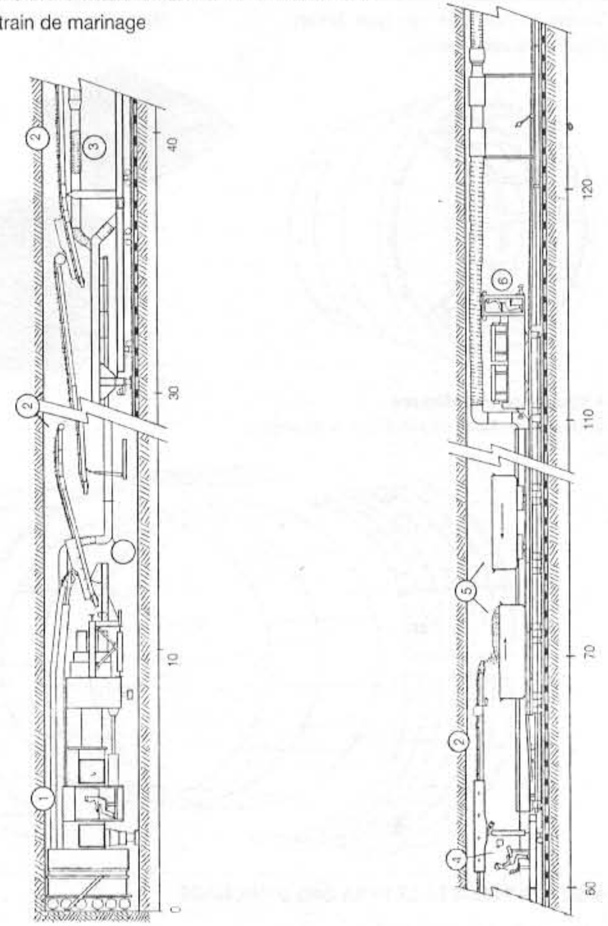
1. béton frais mouillé
2. pompe à béton
3. accélérateur liquide, air comprimé

Les boulons à ancrage réparti comportent une barre nervurée (par exemple acier à haute adhérence) scellée sur toute sa longueur dans le forage. Suivant la nature et le mode de mise en œuvre du produit de scellement, on distingue plusieurs types de boulons.

MARINAGE DES DÉBLAIS

■ CAS DU CYCLE D'AVANCEMENT CONTINU

Par train de marinage



1. atelier de forage et de marinage :
   1 – tunnelier
   2 – convoyeur
   3 – canard de ventilation
   4 – poste de commande du train de marinage
   5/6 – train de marinage.
2. vérin latéral d'appui
3. poste de commande du tunnelier
4. train de marinage
5. dispositif de vidage des wagonnets
6. principe d'avancement du tunnelier

■ CAS DU CYCLE D'AVANCEMENT DISCONTINU

Par chargeur et tombereau

ÉTANCHÉITÉ DES GALERIES

■ FAMILLES D'ÉTANCHÉITÉ

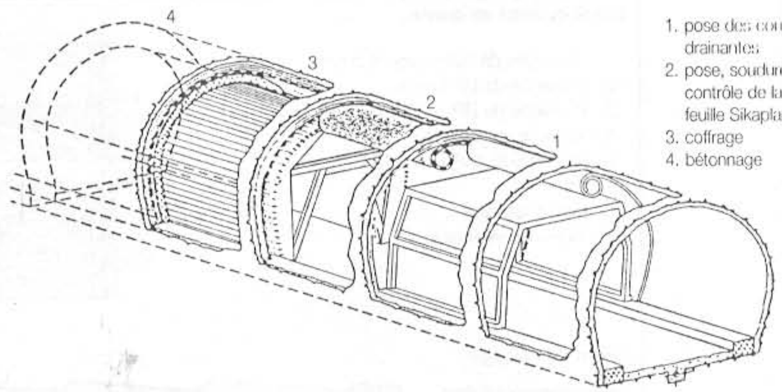
Pour les tunnels traditionnels, l'étanchéité est constituée de :

- plusieurs couches de résines synthétiques,
- membranes bitumineuses,
- revêtement asphalte,
- feuilles synthétiques en PVC.

Pour les trois premières familles la technique s'apparente à celle adoptée sur les ponts.

ÉTANCHÉITÉ DES GALERIES (suite)

■ ÉTANCHÉITÉ DE TUNNELS PAR FEUILLES SYNTHÉTIQUES



1. pose des couches drainantes
2. pose, soudure et contrôle de la feuille Sikaplan
3. coffrage
4. bétonnage

• Principe de l'étanchéité des tunnels

Le principe de ces étanchéités est le suivant (de l'extérieur vers l'intérieur) : béton projeté – drains – feuilles PVC – revêtement intérieur.

• Soudure

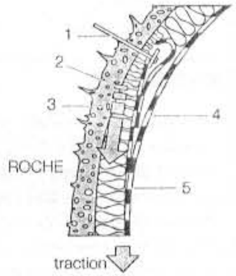
Les feuilles Sikaplan sont soudées à l'air chaud.

• Caractéristiques des produits

- Résistance au feu
- Épaisseurs différentes
- Longueurs ou largeurs adaptables à l'ouvrage
- Couche de protection
- Translucide ou transparente
- Résistante aux huiles et bitumes

• Fixation mécanique

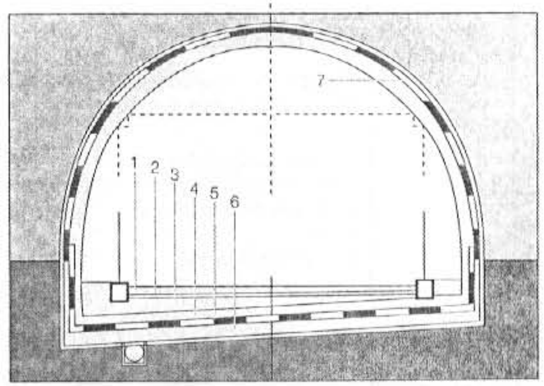
En pose libre, les feuilles Sikaplan sont fixées par points à la paroi. Pour remplacer les fixations par rondelles. Sika a mis au point la « fixation par bretelle ». Des bandes de feuilles Sikaplan d'environ 4 × 20 cm sont fixées au support et soudées sur la membrane d'étanchéité. Ce procédé réduit les tensions superficielles de la feuille lors du bétonnage.



1. fixation mécanique
2. élongation
3. béton projeté
4. Sikaplan®
5. soudure

• Pose en monocouche avec compartiments ou pose en bicouche

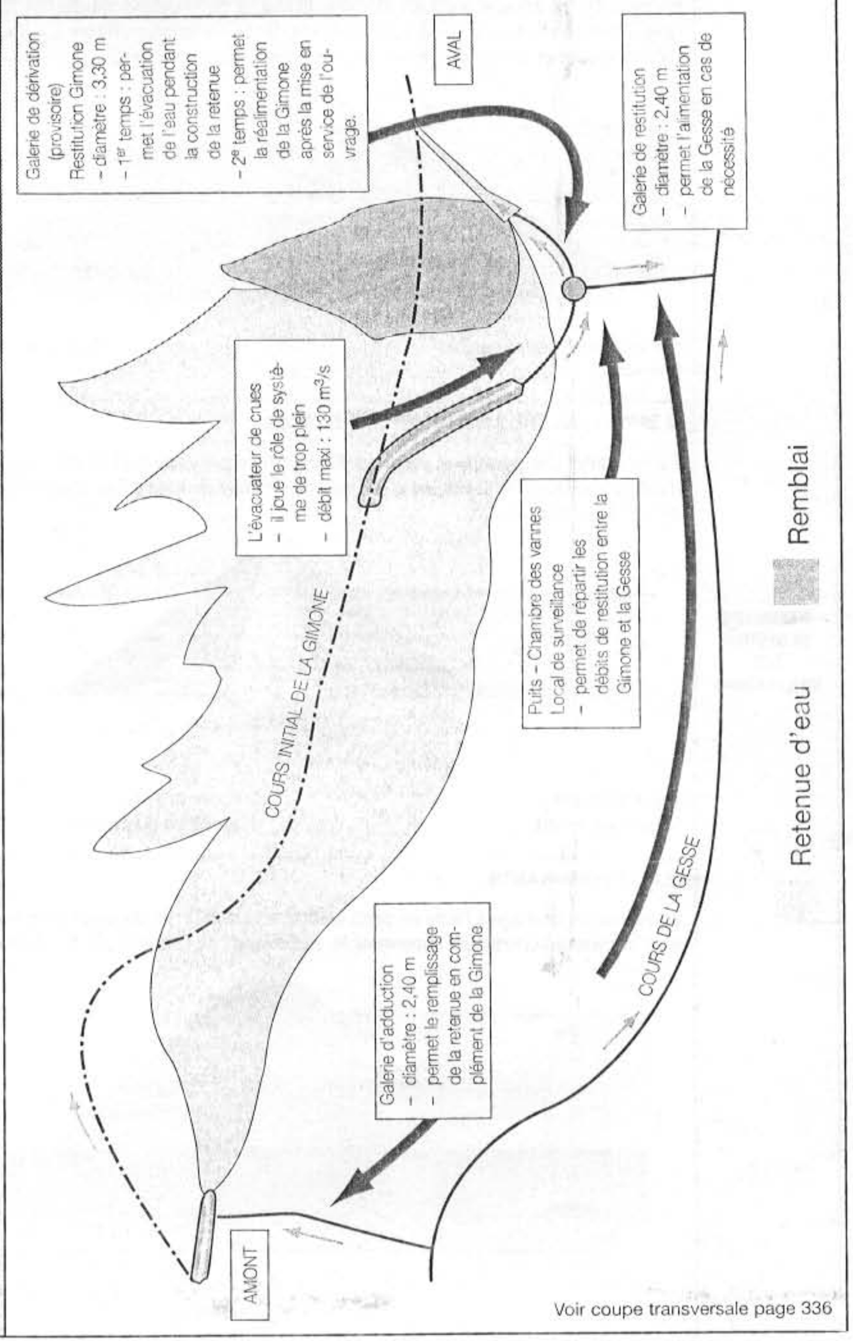
1. béton 18 mm
2. Styrofoam
3. remplissage
4. béton de protection 22 mm
5. étanchéité Sikaplan® 20 B
5. béton drainant 20 cm



DOC. SIKA

24.3 BARRAGES EN TERRE

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT «BARRAGE DE LA GIMONE»



Voir coupe transversale page 336

■ CRITÈRES DE CHOIX D'UN BARRAGE EN TERRE

• Qualité du sol

Un sol donnant lieu à des tassements différentiels importants ou admettant un taux de travail faible conduit à envisager une solution « barrage en terre ».

• Prix de revient

S'il existe à proximité une carrière permettant la réalisation du remblai, le barrage en terre peut être économique.

• Emprise de l'ouvrage

■ ÉTUDE DE STABILITÉ

La stabilité d'un barrage en terre se traite exactement comme celle d'un talus ordinaire. Dans ce calcul, il y a lieu de tenir compte de la présence de l'eau et notamment de la stabilité du talus amont en cas de vidange rapide (inversion du sens d'écoulement).

CONSTITUTION

■ MATÉRIAUX

Les matériaux utilisés dans la constitution du remblai des barrages en terre doivent :

- avoir une forte résistance au cisaillement),
- permettre d'obtenir une imperméabilité suffisante,
- être insolubles dans l'eau (la terre utilisée ne doit pas contenir de gypse ou de sel),
- avoir une faible teneur en matières organiques,
- ne pas se fissurer sous l'effet d'un tassement différentiel prévisible ou de la dessication (ce qui provoquerait des voies d'eau privilégiées),
- être économiquement exploitables et facilement mis en place.

Pente des talus pour les avant-projets de barrage en terre de dimensions courantes
(D'après K. Terzaghi)

Constitution du barrage	Pente amont	Pente aval
1. Massifs homogènes :		
– matériau à granulométrie continue	5/2	2/1
– limon grossier	3/1	5/2
– argile limoneuse ou argile ; hauteur inférieure à 15 m environ	5/2	2/1
– argile limoneuse ou argile ; hauteur supérieure à 15 m environ	3/1	5/2
2. Barrages à noyau		
– sable ou sable et gravier avec noyau en argile	3/1	5/2
– sable ou sable et gravier avec noyau en béton armé	5/2	2/1

TYPES DE BARRAGES

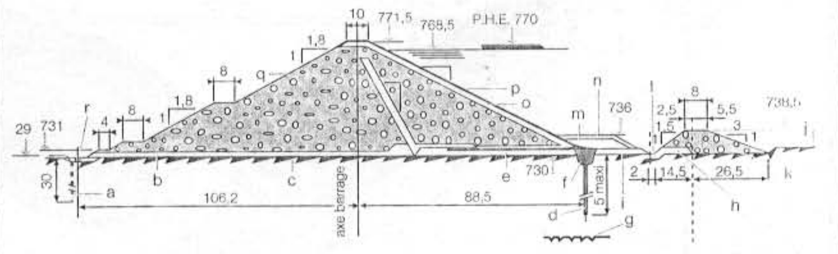
■ BARRAGES HOMOGÈNES

Ils sont constitués d'une même terre ayant une faible perméabilité.

Les enrochements en vrac constituent le matériau le plus couramment utilisé pour la protection du talus amont exposé aux vagues. On peut aussi utiliser un perré arrangé à la main ou un revêtement en béton.

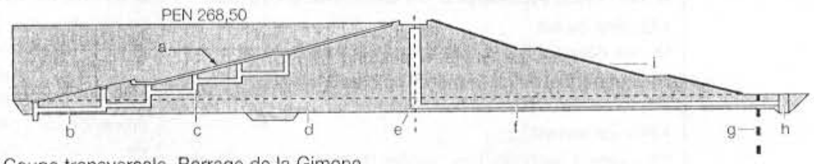
La protection contre le ruissellement de la pluie peut être réalisée en le couvrant d'une couche de 50 cm de terre végétale plantée de gazon. On ménage tous les 10 m environ une risberme (ou banquette) avec un caniveau collectant les eaux de ruissellement.

Ci-dessous, exemple du barrage du Verney :



a. puits de décharge
b. drain aval
c. terrain naturel décapé
d. paroi moulée
e. membrane étanche
f. massif de tête
g. rocher
h. drain
i. matériau fin tapis drainant
j. dépôts
k. matériaux de rives
l. rigole de drainage
m. filtre colmatant
n. alluvions recharge amont
o. alluvions sélectionnés
p. masque étanche à blinda
q. terre végétale pour engazonnement
r. canal de drainage

TYPES DE BARRAGES (suite)



Coupe transversale. Barrage de la Gimone

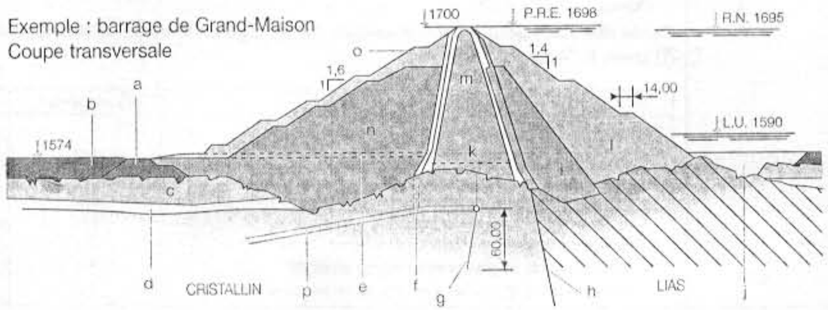
a. enrochement 0/400
b. peignes drainants
c. tranchées drainantes
d. cellules de mesures
e. filtre drain
f. tapis drainant tri-couche
g. puits de décompression
h. puisard
i. terre végétale

■ BARRAGES ZONÉS

Ils sont constitués d'un noyau central en « terre imperméable » compris entre des zones plus perméables. Celles-ci sont constituées par des matériaux dont la perméabilité croît du noyau, qui joue le rôle d'écran étanche, vers les talus.

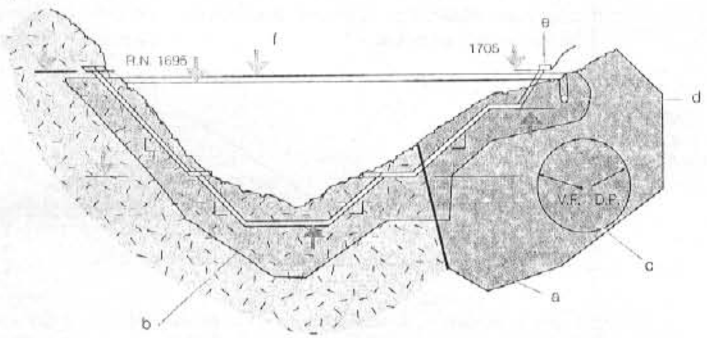
Les enrochements posés le long des talus ne sont pas un simple revêtement de protection, mais un massif stabilisateur à drainage libre permettant de réduire sensiblement le fruit de ces talus et l'emprise de l'ouvrage.

Exemple : barrage de Grand-Maison
Coupe transversale



a. remblai de pied aval
b. plate-forme aval
c. alluvions
d. moraines
e. drains exutoires
f. drain
g. injections
h. contact
i. éboulis propres
j. décharge
k. filtres
l. enrochements
m. noyau en terre
n. éboulis mélangés
o. enrochements
p. galerie sous fluviale de contrôle

Coupe longitudinale



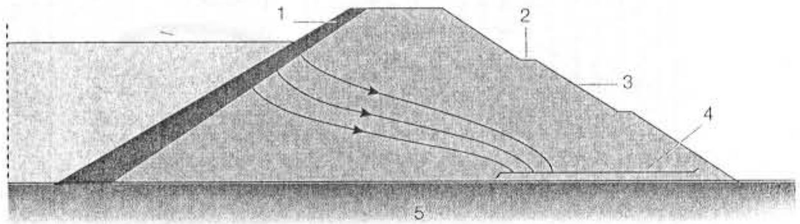
a. représentation de la position approximative du contact franc
b. limite du voile d'injection
c. auréole d'injection
d. évacuateur
e. batiment de surveillance
f. 1700 crête de serrage

DOC. EDF

DISPOSITIFS DE GESTION DES INFILTRATIONS

■ TAPIS FILTRANTS OU DRAINS (BARRAGE HOMOGÈNE)

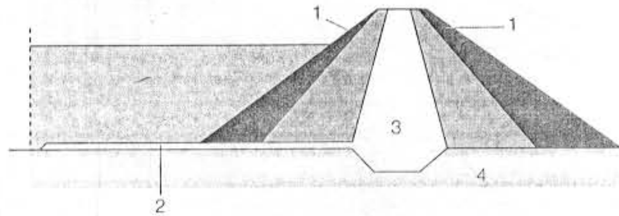
Un tapis filtrant sous le quart ou même le tiers aval de l'ouvrage est destiné à rabattre la ligne phréatique vers le bas en vue d'éviter son émergence sur le talus aval (ce qui pourrait être l'amorce d'un renard et un facteur de réduction du coefficient de sécurité).



1. enrochement de protection
2. risberme
3. talus gazonné
4. filtre ou drain
5. fondation imperméable

■ TAPIS ÉTANCHE AMONT (BARRAGE ZONÉ)

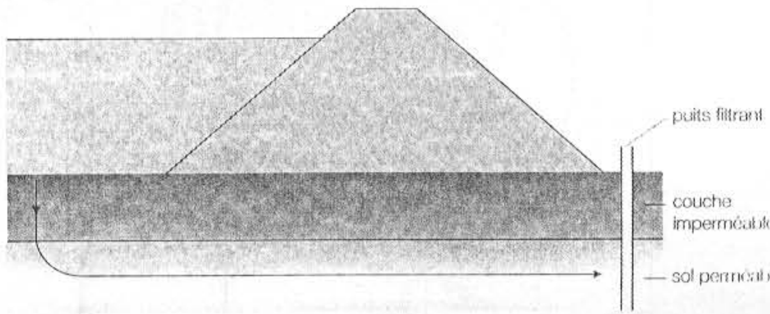
Il a pour effet d'augmenter la longueur du chemin de percolation et de diminuer la valeur du gradient hydraulique. On réduit, en conséquence, le débit de fuite d'eau sous l'ouvrage et le risque de formation d'un renard.



1. enrochement
2. tapis imperméable
3. noyau étanche
4. fondation perméable

■ PUITS DRAINANTS

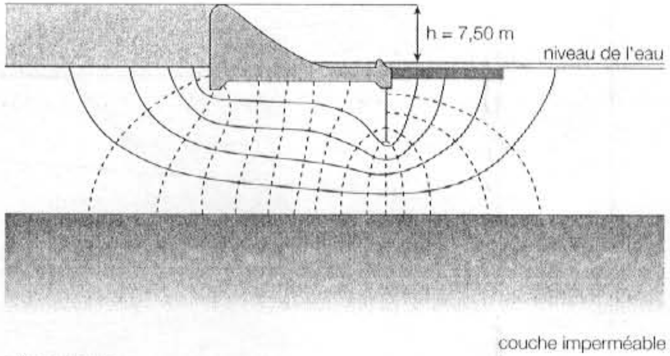
On réalise un drainage à l'aide de puits ou drains verticaux qui décompriment l'eau emprisonnée sous la couche superficielle imperméable. Les renards ne risquent pas de se produire.

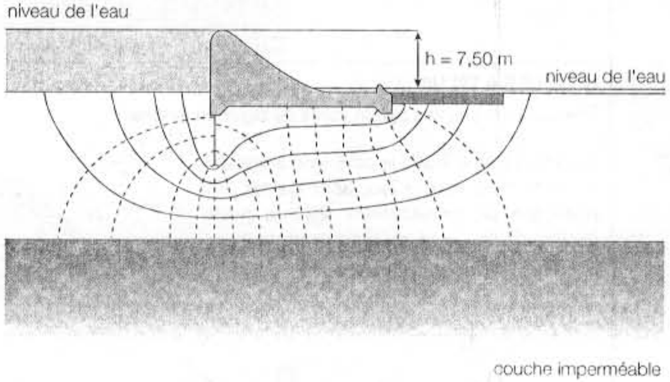


DISPOSITIFS DE GESTION DES INFILTRATIONS

■ ÉCRANS D'ÉTANCHÉITÉ

On peut réduire l'infiltration de l'eau sous le barrage en prévoyant des écrans d'étanchéité qui allongent le chemin d'écoulement. Ces écrans sont souvent réalisés par un ou plusieurs niveaux d'injections appropriées (pour autant que la perméabilité du sol permette une pénétration suffisante du coulis injecté) ou par des murs parafouilles en argile ou en béton.





CONCEPTION DES OUVRAGES

■ ÉCRAN D'ÉTANCHÉITÉ

- Dans la digue :
  - « noyau » avec matériau à faible perméabilité : $K < 10^{-6}$ cm/s, $W_L < 50$.
  - écran « masque amont », membrane plastique ou béton bitumineux
- Dans la fondation :
  - injection par tube à manchettes,
  - paroi moulée.

■ RECHARGE AMONT ET AVAL

Matériaux très perméables et économiques (graviers, enrochements)

■ FILTRES

Entre zones à granulométrie différente afin d'éviter l'érosion due à l'écoulement de l'eau.

■ PROTECTION DES PAREMENTS

Aval tapis végétal, enrochement, blocs préfabriqués.

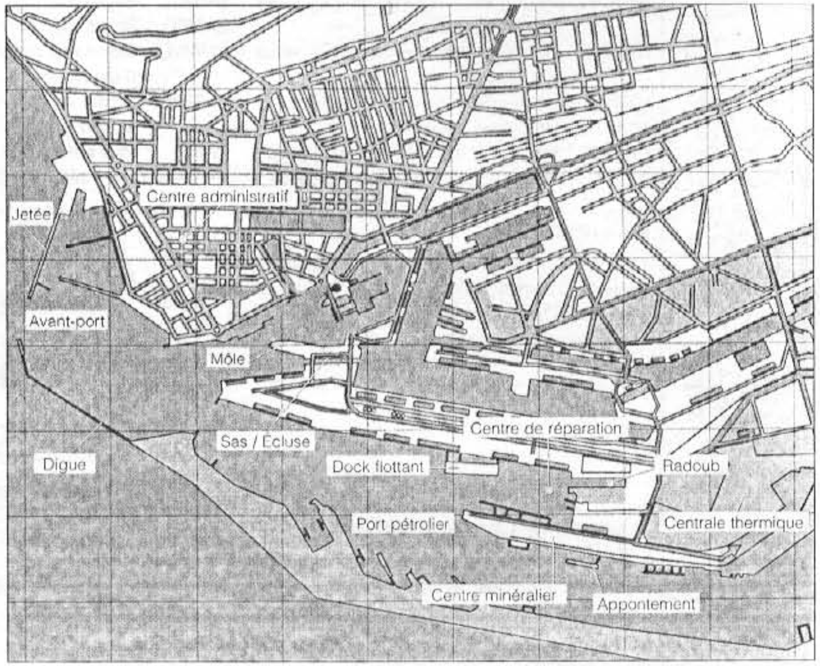
■ OUVRAGES ANNEXES

- Évacuateur de crue (trop plein « accidentel »)
- Vidange de fond – prise d'eau (pour maintenance et gestion des flux)
- Galeries :
  - adduction,
  - restitution,
  - dérivation.
- Poste de commande et de surveillance

24.3 OUVRAGES MARITIMES

TERMINOLOGIE GÉNÉRALE

■ EXEMPLE : PORT DU HAVRE



- **Plans d'eau :**
  - Chenaux.
  - Bassins à marée.
  - Bassins à flot.
  - Darses.

  Pour l'évolution des navires : tirant d'eau et aire d'évitage suffisants.
- **Aires de stockage :**
  - Docks.
  - Hangars.
  - Silots.
  - etc.
- **Construction et réparation :**
  - Cales de lancement.
  - Formes de radoub.
- **Ouvrages d'accostage :**
  - Quais.
  - Appontements.
  - Duc-d'Albe.
  - Môles.
- **Ouvrages extérieurs de protection :**
  - Jetées.
  - Épis.
  - Brise-lames.

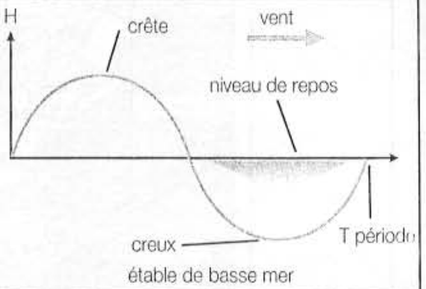
TERMINOLOGIE GÉNÉRALE (suite)

NIVEAUX MARITIMES

PHME	Plus haute mer exceptionnelle	BMMEE	Basse mer mortes eaux d'équinoxe
HMEVEE	Haute mer exceptionnelle vives eaux d'équinoxe	BMM	Basse mer moyenne
HMMVEE	Haute mer moyenne vives eaux d'équinoxe	BMVEO	Basse mer vives eaux ordinaires
HMVEO	Haute mer vives eaux ordinaires.	BMMVEE	Basse mer moyenne vives eaux d'équinoxe
HMM	Haute mer moyenne	BMEVEE	Basse mer exceptionnelle vives eaux d'équinoxe
HMMEO	Haute mer mortes eaux ordinaires.	PHME	Plus basse mer exceptionnelle
BMMEO	Basse mer mortes eaux ordinaires		(zéro maritime ≠ zéro terrestre).

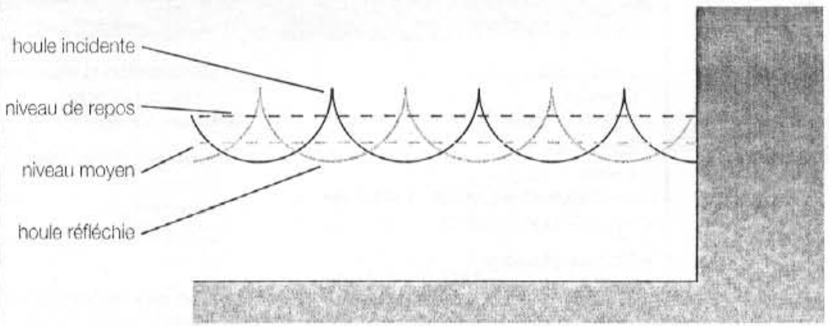
LA HOULE

C'est le mouvement ondulatoire de surface (les vagues). Ce phénomène est dû à l'action du vent ; (sur l'atlantique, amplitude jusqu'à 12 m et longueur d'onde jusqu'à 200 m).



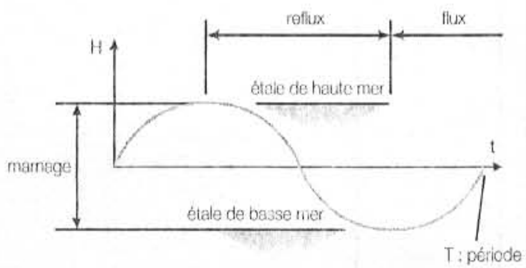
ACTION DE LA HOULE SUR UN OUVRAGE

- Il y a réflexion de la houle ce qui provoque le «clapotis»
- En pied d'ouvrage, le «ressac» peut provoquer des affouillements d'ou la nécéssité de prévoir des protections en enrochements par exemple.



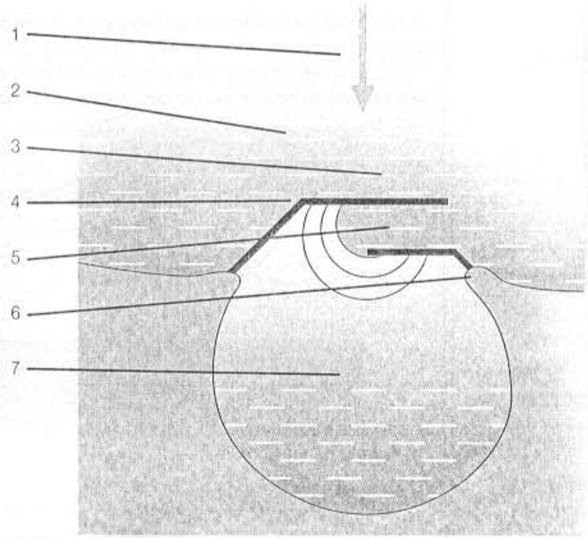
MARÉES

Ce sont les variations périodiques du niveau moyen des eaux de mer dues à l'attraction de la Lune et du Soleil (sur l'Atlantique, période environ de 12 h).



DIGUES

BUT : BRISER L'ÉNERGIE DE LA HOULE

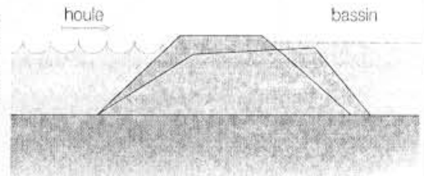


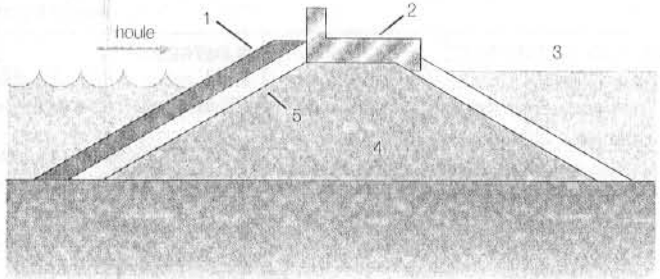
1. houle
2. creux
3. crête
4. jetée
5. passe
6. enracinement
7. baie

DIGUES À TALUS

Elles sont constituées par un corps de digue en remblai.

Sous l'effet de la houle le talus tend à prendre un profil d'équilibre, il faut donc prévoir une protection par enrochement dont la pente dépend de l'intensité de la houle et du poids des éléments.





1. carapace
2. superstructure
3. port
4. corps de digue
5. filtre

Catégories d'enrochements :

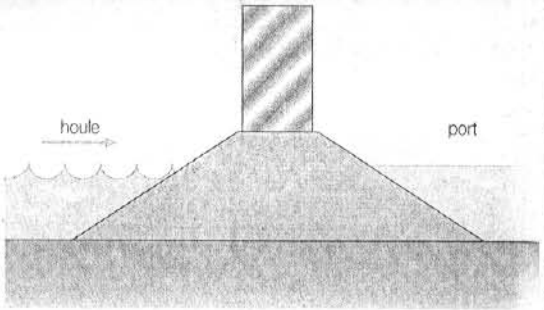
– moellons	– 5 kg < M < 200 kg
– tout venant	– 200 kg < M <500 kg
– blocs 1ᵉ catégorie	– 500 kg < M < 2000 kg
– blocs 2ᵉ catégorie	– 2000 kg < M < 5000 kg
– blocs 3ᵉ catégorie	– 5000 kg < M < 10000 kg

DIGUES (suite)

■ DIGUES VERTICALES

Elles sont constituées d'ouvrages poids sur fondations en enrochements.

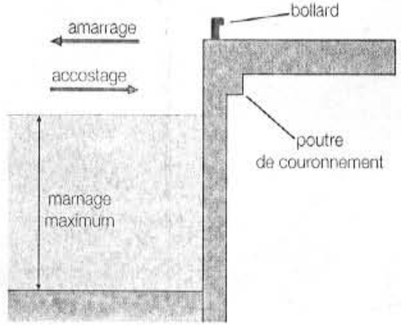
- Blocs de béton préfabriqués.
- Gabions en BA, BP ou Palplanches remplis de matériaux
- etc.



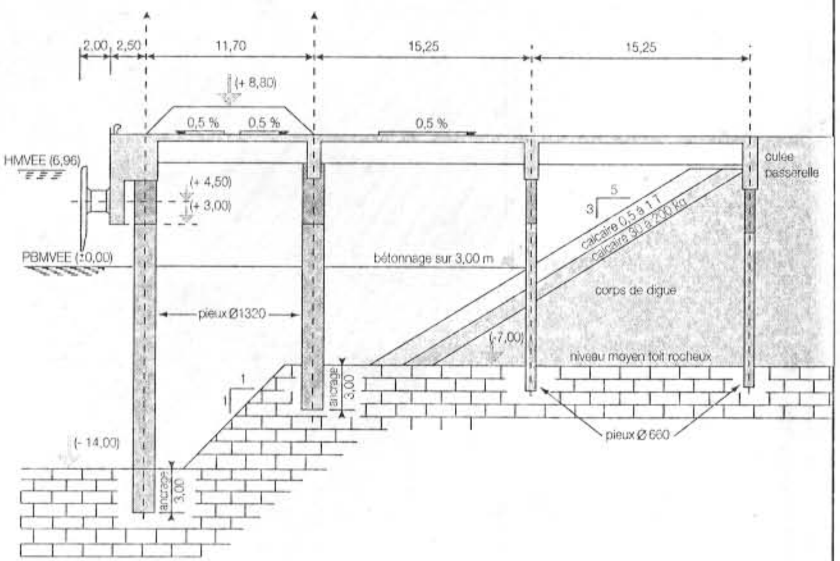
QUAIS

Les fonctions à remplir sont :
- l'accostage,
- l'amarrage,
- le soutènement des terres.

Le marnage maximum est :
tirant d'eau maximum
+ sécurité de 2 m
+ pied de pilote de 1 m

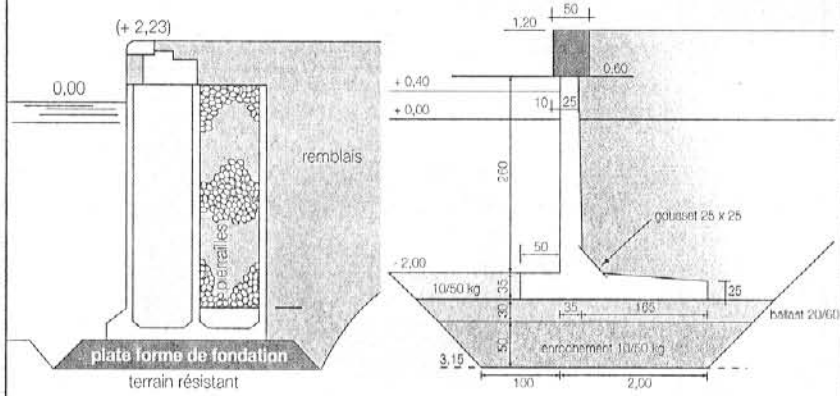


Exemple de quai : Quai Lombard (coupe type sur passerelle).



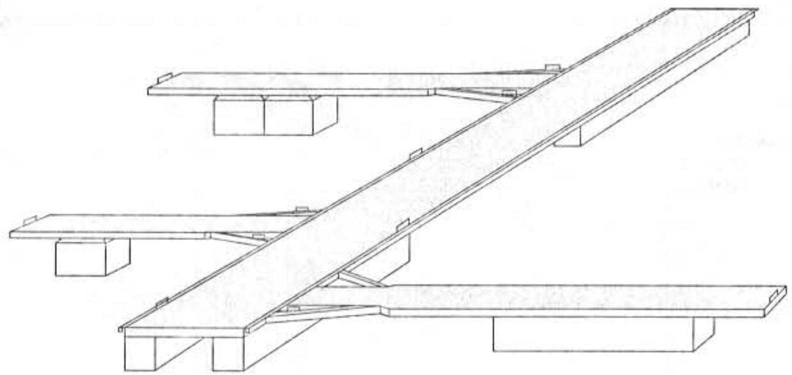
QUAIS (suite)

- Caisse alvéolaire avec plate forme de fondation théorique



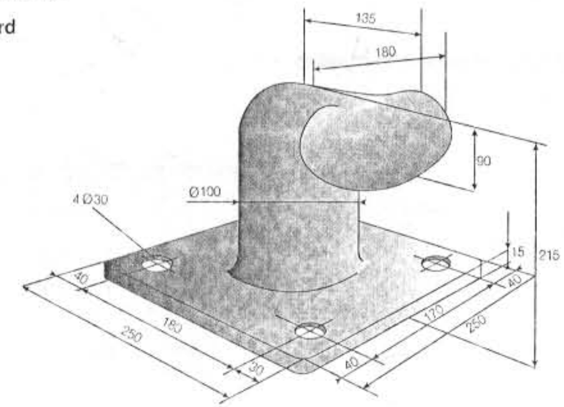
ÉQUIPEMENTS DE QUAIS

■ APPONTEMENTS FLOTTANTS



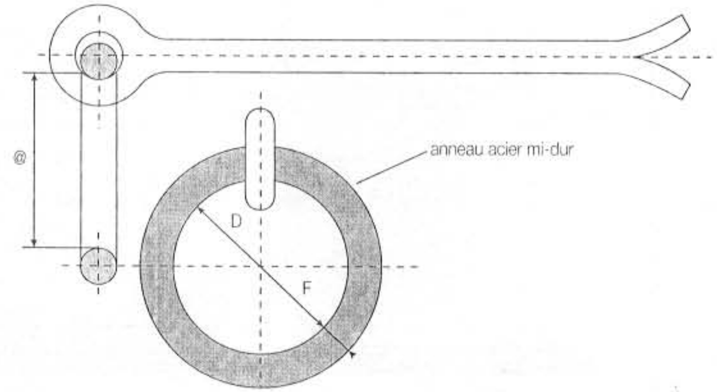
■ AMARRAGE

- Bollard



ÉQUIPEMENTS DE QUAIS (suite)

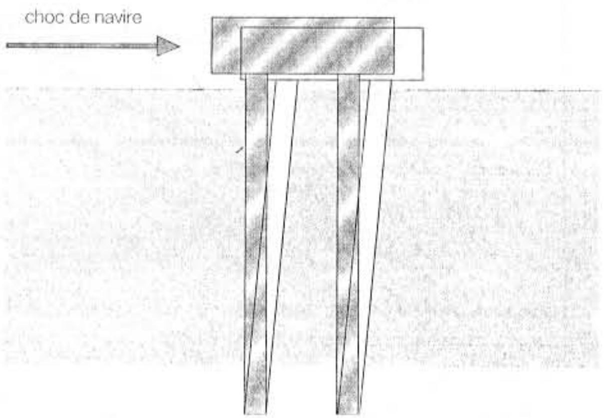
• Organeau



■ ACCOSTAGE

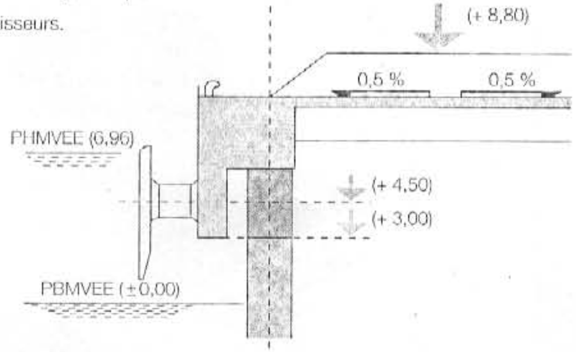
• Duc-d'Albe

Il transforme l'énergie cinétique du bateau en énergie de déformation des pieux



• Défenses d'accostage de quais

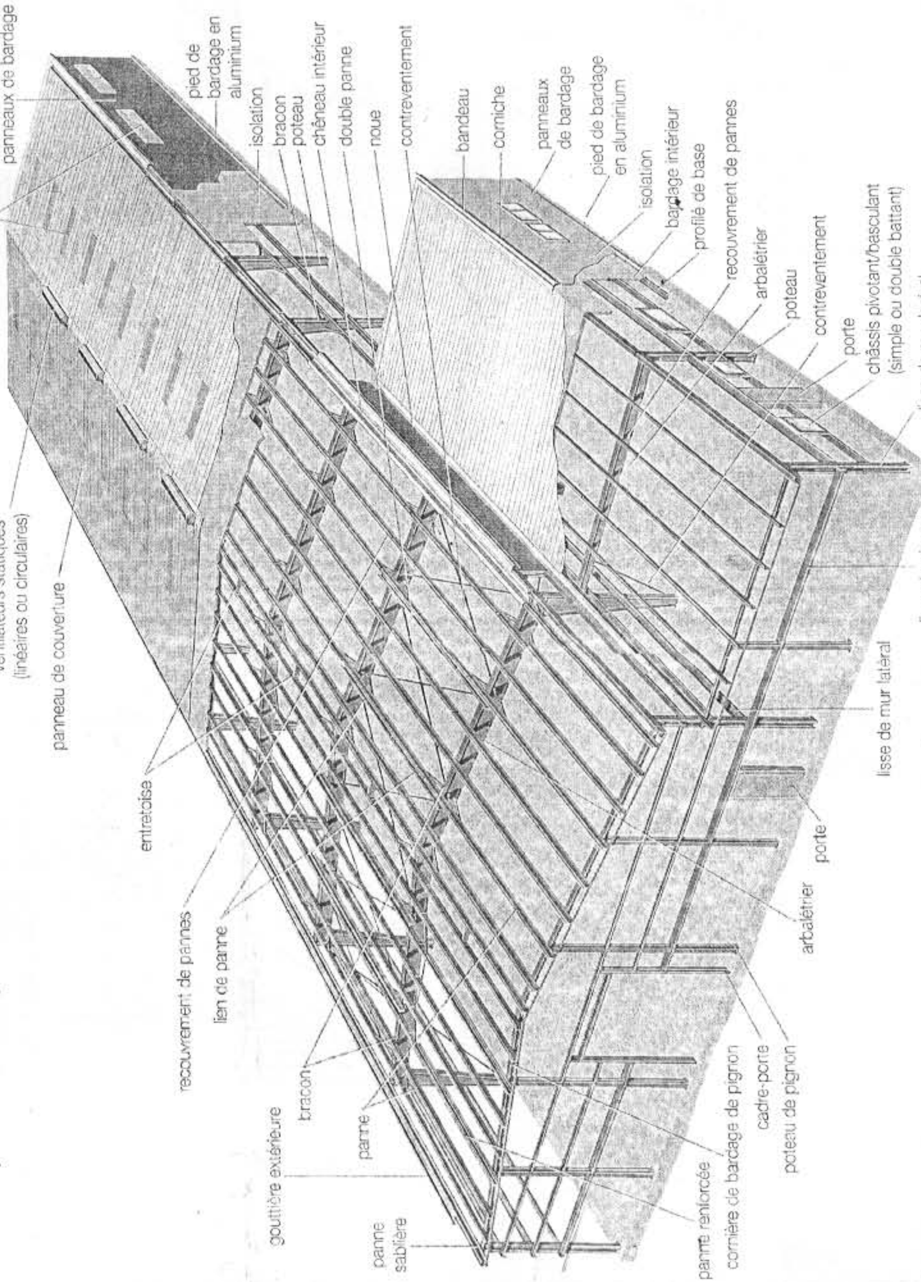
Il s'agit d'amortisseurs.



25 CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

25.1 VOCABULAIRE

Caractéristiques du bâtiment à portée libre



Note : en application de certaines normes, un contreventement sera placé dans le pignon.

25.2 DÉTAILS D'OSSATURE

OSSATURE PRIMAIRE ET SECONDAIRE

■ **OSSATURE PRIMAIRE**

L'ossature primaire comprend :

- les fermes intermédiaires à portée libre ou modulaire, y compris les boulons d'ancrage ;
- les fermes et poteaux de pignon, y compris les boulons d'ancrage ;
- les contreventements : croix de Saint-André, portiques de contreventement ou poteaux de contreventement selon le cas ;
- les corbeaux pour chemins de roulements des ponts roulants ;
- les contreventements par tirants.

■ **OSSATURE SECONDAIRE**

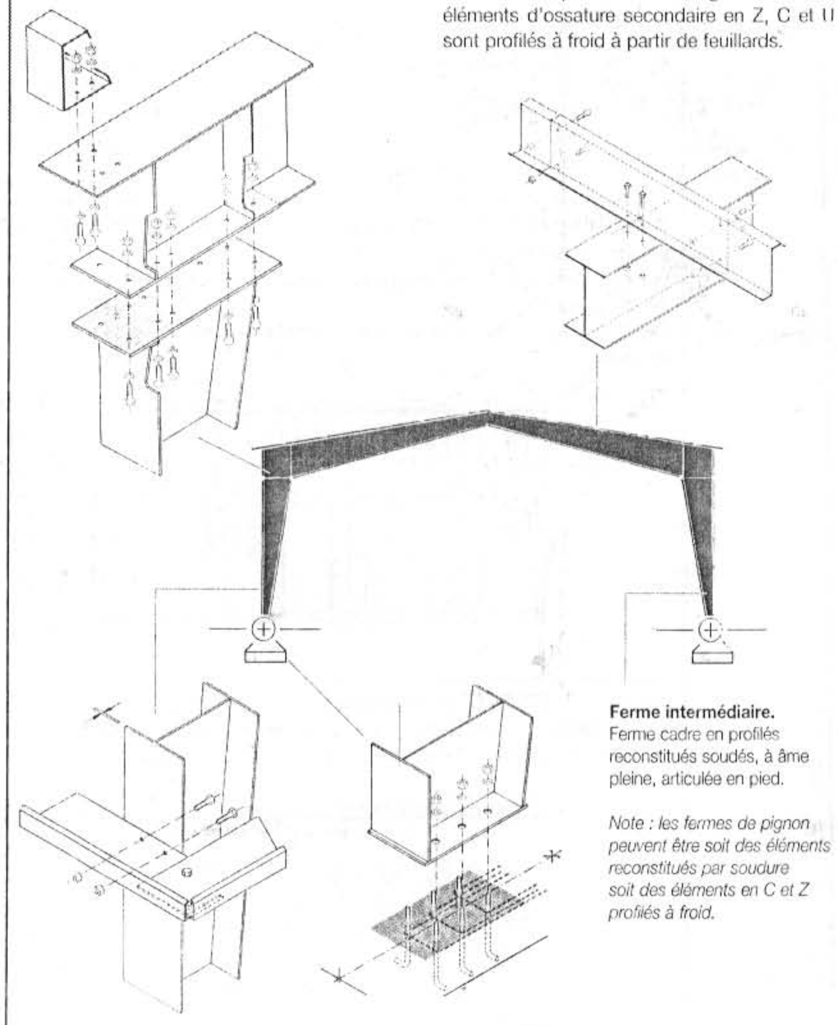
L'ossature secondaire comprend essentiellement les pannes et les lisses.

Les pannes sont posées avec recouvrement au droit des fermes pour travailler en poutres continues.

Les lisses peuvent être posées :

- soit en continu à l'extérieur des poteaux, avec recouvrement ;
- soit entre poteaux, avec des engravures au droit des ailes.

Les pannes et les lisses sont fixées à l'ossature et entre elles par des boulons galvanisés. Les éléments d'ossature secondaire en Z, C et U sont profilés à froid à partir de feuillards.



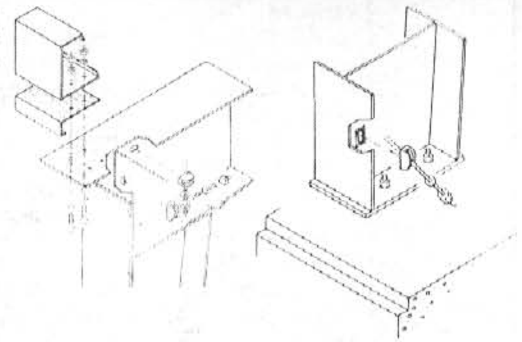
Ferme intermédiaire.
Ferme cadre en profilés reconstitués soudés, à âme pleine, articulée en pied.

Note : les fermes de pignon peuvent être soit des éléments reconstitués par soudure soit des éléments en C et Z profilés à froid.

DOC. ASTRON

CONTREVENTEMENTS

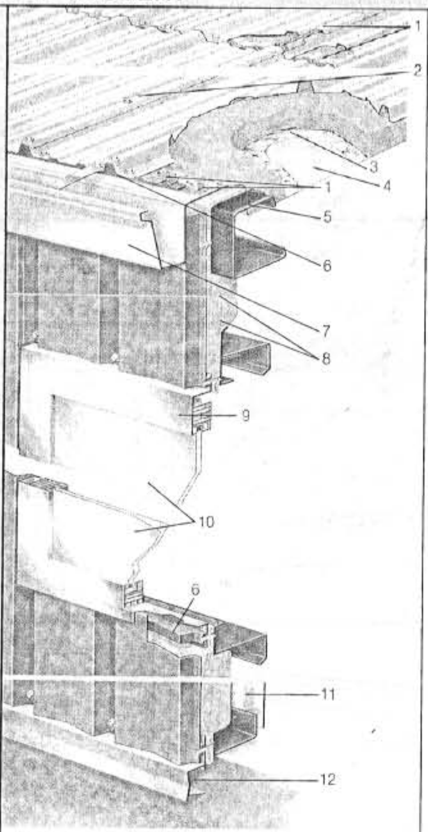
Les contreventements sont constitués par des tirants en acier rond E 36-3, norme NF A 35-501, disposés en croix de Saint-André et placés en toiture et longs pans. Ils transmettent les efforts horizontaux du vent sur les pignons aux fondations. Il est possible de remplacer les contreventements verticaux en croix de Saint-André par des portiques ou des poteaux de contreventement afin de respecter l'architecture des façades.



DOC. ASTRON

25.3 CLOS ET COUVERT

SYSTÈME DE TOITURE PR



1 joint d'étanchéité
2 vis de couture
3 pare-vapeur aluminium renforcé
4 face vinyl blanc intérieur
5 isoblock
6 closoir en néoprène
7 gouttière
8 isolation avec pare-vapeur
9 châssis aluminium
10 double vitrage
11 bardage intérieur
12 pied de bardage en aluminium

DOC. ASTRON

La toiture PR se compose de pannes portantes en Z et de panneaux de couverture en acier prélaqué, fixés par vis.

■ **PANNEAUX DE COUVERTURE PR**

Les panneaux de couverture PR sont en acier nervuré d'une largeur de 900 mm et d'un module de 300 mm. Des ondes principales de 32 mm alternent avec deux nervures intermédiaires de 5 mm de hauteur. Ils sont posés d'une pièce sur au moins 3 appuis, les pannes étant espacées au maximum de 1,50 m, les nervures suivant la pente du toit. Les panneaux sont fixés par des vis en acier inoxydable avec rondelles néoprène. Aux recouvrements transversaux et longitudinaux, l'étanchéité est assurée par un joint souple autocollant posé entre les panneaux.

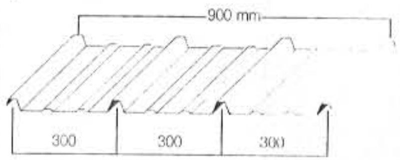


Vis de toiture PR

• **Joints d'étanchéité**

Des joints d'étanchéité non durcissables, résistant au vieillissement et aux intempéries, sont fixés entre les panneaux et en assurent l'étanchéité. La combinaison de ces joints souples avec des joints mousse en néoprène profilé, assure l'étanchéité à la rive.

• **Caractéristiques dimensionnelles d'un panneau PR**



Épaisseur 55/100^e, largeur 900 mm (3 modules de 300 mm)

SYSTÈME DE BARDAGE PA

• **Murs PA**

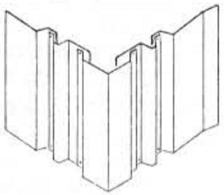
Les murs PA peuvent être à simple ou à double peau, isolés ou non. Le système à double peau est la combinaison du bardage extérieur PA avec le contrebardage PL Astron.

L'isolation thermique Astrotherm peut être adaptée selon les besoins : choix de l'épaisseur de laine de verre, choix de la sous-face suivant l'esthétique souhaitée et le classement au feu imposé.

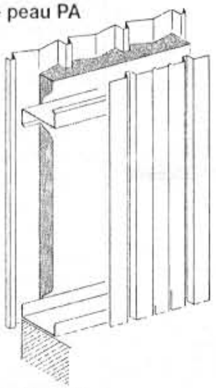
• **Éléments de fixation**

Les panneaux sont fixés à l'aide de vis de bardage en acier et à tête nylon de la couleur du bardage.

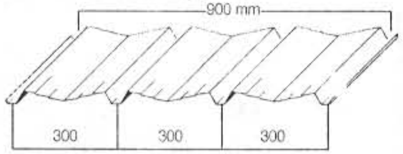
• **Détail d'un angle en PA**



• **Parois double peau PA**



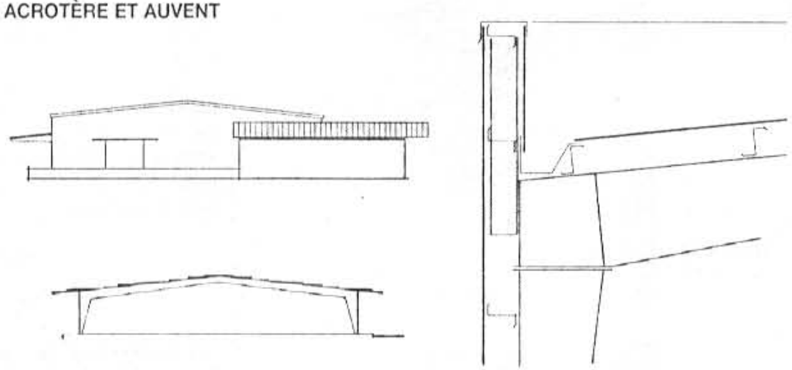
• **Panneau de bardage PA**



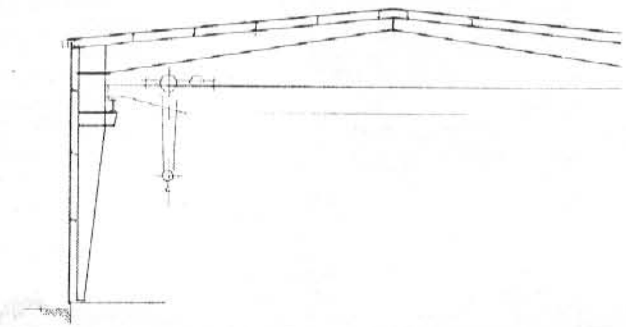
DOC. ASTRON

ACCESSOIRES

■ ACROTÈRE ET AUVENT



■ PONTS ROULANTS

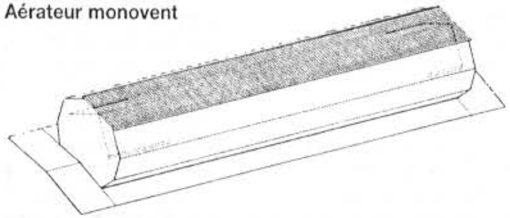


DOC. ASTRON

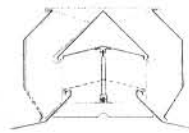
ACCESSOIRES (suite)

■ AÉRATEURS

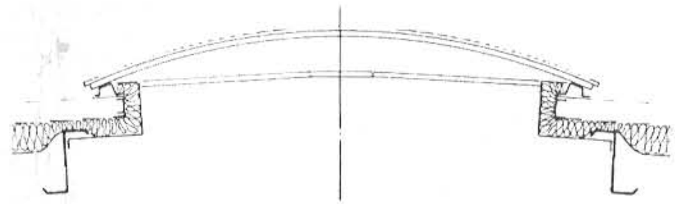
• **Aérateur monovent**



• **Aérateur statique circulaire**



■ COUPOLE D'ÉCLAIRAGE, LANTERNEAU LONGITUDINAL

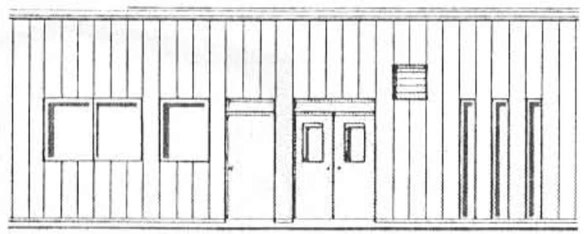


■ PORTES, FENÊTRES, GRILLE D'AÉRATION, ENCADREMENTS DE PORTES

• **Portes, fenêtres, aération**

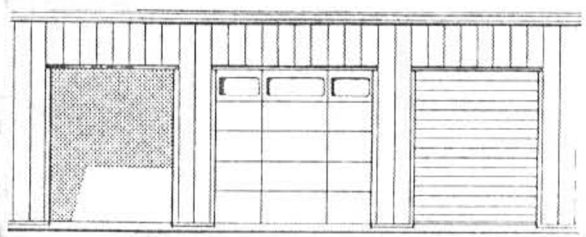
Des précadres et arrêts de bardage sont livrés pour portes, portes industrielles, vitrines et bandes translucides.

Les descentes d'eau pluviales sont disponibles dans la même gamme de coloris que les panneaux.



• **Encadrements de portes**

Les encadrements de portes pour rideaux à lames agrafées, portes industrielles, coulissantes ou sectionnales, s'adaptent parfaitement aux parois et permettent l'installation de toute porte traditionnelle. Les portes de dimensions exceptionnelles peuvent être prévues.



26 CHARGES

26.1 CHARGES PERMANENTES (NF P 06-004)

POIDS VOLUMIQUE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET DIVERS CORPS EN VRAC

■ MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

	Poids volumique en daN/m³
• Métaux	
Acier	7 850
Fonte	7 250
Aluminium	2 700
Métaux cuivreux	8 900
Plomb	11 400
• Bois	
Bois de conifères séché à l'air	600
Bois de feuillus séché à l'air	800
Bois durs tropicaux	1 000
• Pierres et béton	
Grès	2 500
Calcaire compact, marbre	2 800
Granit	2 800
Calcaire de dureté moyenne	2 200
Calcaire tendre	1 800
Béton non armé	2 200
Béton armé	2 500
Béton de granulats légers (argile ou schiste expansé)	750 à 1 550
• Maçonnerie sans enduit	
Maçonnerie sans enduit	
en moellons	2 300
en briques pleines	1 900
en briques perforées	1 350
en briques creuses	900
en blocs de béton pleins en granulats lourds	2 100
en blocs de béton creux en granulats lourds	1 350
en pierre de taille	2 700
Blocs de liège	400
Planches de plâtre	1 000
Asphalte coulé	1 800
Béton bitumineux	2 200
Verre	2 500

■ CORPS DIVERS

	Poids volumique en daN/m³
• Matériaux divers	
Sable	1 700 à 1 900
Gravier	1 700
Terre sèche	1 800
Terre humide	2 100
Ballast concassé	1 800
Ballast roulé	1 900
Ballast voie de chemin de fer	1 850
Houille sèche	800
Houille humide	1 000
Briques en vrac	800
Briques empilées	1 300
Coke	650
Minette	2 000
Mâchefer	800
Cendres	800
• Bois débité	
Conifères en bûches, sec	450
Conifères en bûches, humide	650
Feuillus en bûches, sec	700
Feuillus en bûches, humide	1 000
En copeaux, vrac	200
En copeaux, compact	300
• Produits alimentaires	
Blé, orge, seigle	800
Avoine en vrac	550
Pommes de terre	700
Fruits	450
Raves	700
Malt	600
Farine, en vrac	600
Farine, en sacs	500
Sucre, en vrac	950
Sucre, en sacs	1 600
Sel, en vrac	1 200
Sel, en sacs	1 000
• Produits agricoles	
Foin et paille, en vrac	100
Foin et paille, bottelé	150
Herbe et trèfle	350
Fourrages ou feuilles (tassés)	1 000
Fumier en tas	1 200
Fumier empilé	1 800
• Papeterie et meubles	
Papier empilé	1 100
Papier en rouleau	1 600
Classeurs, armoires, bibliothèques compte tenu des parties vides	600

POIDS SURFACIQUE DES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UNE CONSTRUCTION

■ MAÇONNERIE

Nature de la paroi	Épaisseur réelle en cm	Poids surfacique en daN/m²
• Terre cuite*		
Parois en briques pleines	5,5 10,5 21,5 33	105 200 405 630
Parois en briques creuses	5 10 15 20 25 30	4 90 130 175 215 260
Parois en briques perforées	5,5 10,5 21,5 33	70 140 295 450
Parois en blocs perforés	17,5 22,5 27,5	230 295 360
• Pierre de taille*		
Parois pleines	20 30	530 810
Revêtements autoportants	8	220
Revêtements attachés	3	80
Revêtements scellés (y compris le mortier)		40
• Carreaux de plâtre		
Cloisons en carreaux de plâtre à parements lisses	par cm	10

Nature de la paroi	Épaisseur réelle en cm	Poids surfacique en daN/m²
• Blocs en béton*		
Parois en blocs pleins de béton de granulats lourds	5 10 15 20	105 210 315 420
Parois en blocs creux de béton de granulats lourds (blocs à parois épaisses)	5 10 15 20 25 30	65 135 200 270 325 385
Parois en blocs pleins de béton d'argile expansé ou de schiste expansé (béton : 750 à 1 550 kg/m³)	5 10 15 20	45 à 80 90 à 160 135 à 240 180 à 320
Parois en blocs creux de béton d'argile expansé ou de schiste expansé (blocs à parois épaisses : 750 à 1 550 kg/m³)	10 15 20 25	60 à 100 90 à 150 120 à 200 150 à 250
Parois en blocs pleins de béton de laitier expansé ou de pouzzolane (béton : 1 450 kg/m³)	5 10 15 20	75 150 225 300
Parois en blocs creux de béton de laitier expansé ou de pouzzolane (blocs à parois épaisses béton : 1 450 kg/m³)	10 15 20 25	95 140 190 130
Parois en blocs pleins de béton cellulaire autoclavé (béton : 6 000 kg/m³)	15 20 25 30	120 160 205 245

** Enduits non compris*

■ ENDUITS

Enduit en plâtre	par cm	10 daN/m²
Enduit au mortier de liants hydrauliques	par cm	18 daN/m²

■ PLANCHERS

Nature du plancher	Poids surfacique en daN/m²
Dalles pleines en béton armé par cm	25

POIDS SURFACIQUE DES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UNE CONSTRUCTION (suite)

■ PLANCHERS (suite)

Nature du plancher	Montages avec table de compression		Montages sans table de compression	
	Épaisseur réelle en cm	Poids surfacique en daN/m²	Épaisseur réelle en cm	Poids surfacique en daN/m²
Planchers nervurés à poutrelles préfa-briquées ou nervures coulées en place, avec entrevous (corps creux) en béton, entraxe 60 cm	12 + 4 16 + 4 20 + 4 25 + 5	250 à 260 275 à 285 310 à 330 360 à 400	16 20 24	220 à 230 260 à 280 290 à 310
Planchers nervurés à poutrelles préfa-briquées ou nervures coulées en place, avec entrevous (corps creux) en terre cuite, entraxe 60 cm	12 + 4 16 + 4 20 + 4 25 + 5	220 à 230 250 à 260 280 à 300 320 à 360	16 20 24	190 à 200 220 à 240 250 à 270
Planchers nervurés à poutrelles préfa-briquées ou nervures coulées en place, avec entrevous très légers (exemple polystyrène) ou sans entrevous	12 + 5 16 + 5 20 + 5 25 + 5	150 à 170 170 à 200 180 à 210 240 à 280		
Planchers préfabriqués à éléments join-tifs de dalles alvéolées, à alvéoles de petites dimensions	12 16 20 24	200 à 250 240 à 290 280 à 330 320 à 370	*La variation des poids moyens est due à la variation de la forme de la section*	

■ REVÊTEMENT DES PLANCHERS

Poids surfacique en daN/m²

• Chape en mortier de ciment
(par cm) 20

• Dalle flottante en béton
y compris sous-couche élastique (par cm) 22

• Carrelages scellés
y compris la couche de mortier
de pose de 2 cm
– grès cérame mince (4,5 mm)
format 5 × 5 et 2 × 2 50
– grès cérame (9 mm) format 10 × 10 60
– dalle céramique ou pierre dure
de 15 à 30 mm .... 70 à 100

• Carrelages ou dallages collés
(par cm) 20

• Parquets
de 23 mm y compris lambourdes 25

• Sols minces textiles ou plastiques (collés ou tendus) et parquets mosaïques,
y compris ragréage du support 8

• Chape flottante en asphalte
2 à 2,5 cm, y compris couche élastique,
revêtement de sol non compris 50

■ TOITURES

Poids surfacique en daN/m²

• Support de couverture
lattis (ou liteau) sapin 3
voligeage sapin 10
support céramique 45

• Couvertures métalliques
en zinc (voligeage et tasseaux compris) 25
en alu 8/10 (plaques ondulées sans support) 3
en alu 8/10 (voligeage et tasseaux compris) 17
en acier inox (voligeage et tasseaux compris) ... 25
en tôle ondulée d'acier galvanisé 8/10 6

• Couvertures en ardoises
ardoises naturelles ordinaires
(lattis et voligeage compris) 28
ardoises modèle en amiante ciment
(lattis et voligeage compris) 30

• Couvertures en tuiles
tuiles mécaniques à emboîtement
(liteaux compris) .... 35 à 45
tuiles plates (liteaux compris) .... 55 à 75
tuiles canal (voliges comprises) .... 40 à 60
tuiles béton (supports compris) 45

• Couvertures en éléments autoportants non métalliques
plaques ondulées d'amiante ciment 17
plaques profilées d'amiante ciment
sur support de tuiles canal
(tuiles comprises) 40

POIDS SURFACIQUE DES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UNE CONSTRUCTION (suite)

■ SOUS-TOITURES ET TERRASSES

Poids surfacique en daN/m²

• Sous-toitures
contreplaqués okoumé, par cm d'épaisseur 5
panneaux de lin, par cm d'épaisseur 4
plaques de plâtre (genre placoplâtre ou prégypan), par cm d'épaisseur 9
panneaux de paille compressée, par cm d'épaisseur 3
plaques planes d'amiante ciment en 6 cm d'épaisseur 11

• Terrasses
asphalte coulé en 0,5 cm d'épaisseur plus 1,5 cm d'asphalte coulé sablé 50
étanchéité multicouche en ciment volcanique, enduit plastique ou feutre bitumé, 2 cm 12
gravillon pour protection de l'étanchéité par cm d'épaisseur 20
protection de l'étanchéité réalisée par couche d'asphalte gravillonné de 2 cm
sur deux feuilles de papier kraft 50

26.2 CHARGES D'EXPLOITATION (NF P 06-001)

Les charges d'exploitation sont celles qui résultent de l'usage des locaux. Elles correspondent au mobilier, au matériel, aux matières en dépôt et aux personnes pour un mode normal d'occupation. Les valeurs des charges d'exploitation comprennent également les équipements légers tels que canalisations de distribution des fluides ménagers, appareils sanitaires, radiateurs, appareils de chauffage individuels.

Elles ne comprennent pas les cloisons, plafonds, sols, enduits et revêtements, gaines et conduits de fumée, ni les appareils lourds. Ces éléments sont pris en compte en fonction de leurs caractéristiques propres.

VALEURS DES SURCHARGES D'EXPLOITATION

■ SELON LA NATURE DES LOCAUX

RH indique la réduction de base pour grandes surfaces. *MH indique la majoration pour faibles surfaces.*	Valeur en kN/m²	Réduction Majoration
Hébergement en chambres, salles de jeux et repos des crèches	1,5	RH.MH
Hébergement collectif (dortoirs)	2,5	RH.MH
Salles de restaurant, cafés, cantines (places assises < 100)	2,5	RH.MH
Bureaux proprement dits	2,5	RH.MH
Salles de réunion avec tables de travail	2,5	RH.MH
Halles diverses (gares, etc.) où le public se déplace	4,0	RH
Salles d'exposition de moins de 50 m²	2,5	RH
Salles d'exposition de 50 m² et plus	3,5	RH
Salles de réunions et lieux de culte avec assistance debout	5,0	
Salles, tribunes et gradins des lieux de spectacles et de sport avec places debout	6,0	
Salles de théâtre, salles de conférences, amphithéâtres, tribunes et autres lieux avec sièges (sans tables ni pupitres)	4,0	
Cuisines des collectivités, non compris les charges du gros matériel prises en compte indépendamment	2,5	
Salles de lecture des bibliothèques	4,0	RH.MH
Salles de danse	5,0	
Boutiques et annexes	5,0	RH.MH
Garages et parcs de stationnement de voitures légères, à l'exclusion des ateliers d'entretien et de réparation (réductions : *cf.* NF P 06-001)	2,5	
Balcons (6,0 kN/m² lorsque l'accumulation de personnes est possible)	3,5	

Circulations intérieures des bâtiments : la valeur ne sera pas inférieure à celle des locaux desservis. Elle sera de 5 kN/m² lorsqu'une accumulation statique d'un grand nombre de personnes est possible. Loggias : prendre comme charge celle des locaux contigus.

VALEURS DES SURCHARGES D'EXPLOITATION (suite)

■ SELON LE TYPE D'UTILISATION

RH indique la réduction de base pour grandes surfaces.
MH indique la majoration pour faibles surfaces.

	Valeur en kN/m²	Réduction Majoration
• Bâtiments de bureaux		
Bureaux proprement dits	2,5	RH.MH
Bureaux paysagers	3,5	RH.MH
Circulations et escaliers	2,5	
Halls de réception	2,5	
Halls à guichet	4,0	R.H.
Salle de projection, de conférence, nombre de places limité (< 50 m²)	3,5	
Cantines (selon les dimensions et le nombre de places assises)	2,5 à 3,5	
Salles de réunion avec tables	2,5	
Zone de dépôts	3,5	
Salles d'ordinateur et de reprographie (+ équipement lourd)	2,5	
• Bâtiments scolaires et universitaires		
Dépôts de cuisines collectives	6,0	
Salles avec assistance debout : circulations, escaliers, surfaces de regroupement, d'abri, de détente et de jeux, salles polyvalentes	4,0	
Cuisines collectives	5,0	
Salles de réunions, salles polyvalentes utilisées normalement avec sièges, bibliothèques, dépôts, lingerie	4,0	
Amphithéâtres, salles de classe remodelables et locaux équivalents, cantines, réfectoires	3,5	
Salles de classe et locaux équivalents, salles à manger de petites dimensions, laboratoires et ateliers (le matériel lourd est à prendre en sus), dortoirs ou chambres collectives, sanitaires collectifs, locaux, médicaux et sociaux, galeries de liaisons, garages à vélo	2,5	
Hébergement individuel	1,5	RH.MH
Bâtiments à usage sportif et d'éducation physique	5	
• Bâtiments hospitaliers et dispensaires		
Locaux d'hébergement :		
– chambres	1,5	RH.MH
– circulations internes	2,5	
Locaux médico-techniques		
– salles d'opération, salles de plâtre, salles de travail (obstétrique)	3,5	
– pour les autres services, la charge peut être prévue d'une façon générale (+ éventuellement équipement lourd ou surcharge de piscine).	2,5	
En outre, dans les locaux de radiographie, les salles d'opération et de plâtre, il y a lieu de prévoir des charges pour équipements suspendus en plafond.		
Autres locaux :		
– halls	4,0	RH.MH
– circulations générales	4,0	
– bureaux	2,5	RH.MH
– postes de personnels et de soins	2,5	
– salles de cours	2,5	
– salles de réunions, de conférence et de restauration générale :		
• local utilisable en tant que local de réception, de surface en principe supérieure à 100 m²	4,0	
• local de surface inférieure à 50 m²	2,5	
– sanitaires	1,5	
– cuisines	5,0	
– buanderies (+ équipement lourd)	3,5	
– locaux de réserves, dépôts ou stockage	3,5 à 6,0	

VALEURS DES SURCHARGES D'EXPLOITATION (suite)

	Valeur en kN/m²	Réduction Majoration
• Bâtiments à usage d'habitation		
Logements y compris combles aménageables	1,5	RH
Balcons	3,5	
Escaliers à l'exclusion des marches isolées, halls d'entrée	2,5	
Combles non aménageables dont l'utilisation n'est pas prévue a priori, non accessible normalement, avec plancher	1,0	
Greniers proprement dits	2,5	
Étages des caves	2,5	

CHARGES ROUTIÈRES

Les charges à prendre en compte dans le cadre de l'étude des ponts-routes supportant une ou plusieurs chaussées sont définies dans un fascicule spécial n° 72-21 bis, cahier des prescriptions communes applicables aux marchés de travaux publics relevant des services de l'équipement.

26.3 LOI DE DÉGRESSION DES CHARGES (NF P 06-001)

INCIDENCE DE LA SURFACE D'APPLICATION SUR LA VALEUR DE LA CHARGE D'EXPLOITATION

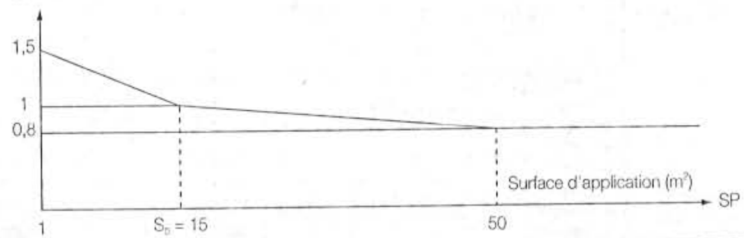
La valeur unitaire de la charge d'exploitation à prendre en compte dans le calcul d'un élément porteur dépend de l'étendue de la surface d'application dénommée SP supportée par cet élément.

La « valeur unitaire de référence » de la charge d'exploitation correspondant à une surface de référence S_0 de 15 m² est définie de telle manière que :

- pour une surface SP inférieure à S_0, on applique une majoration de la charge unitaire (MH),
- pour une surface SP supérieure à S_0, on applique une réduction de la charge unitaire (RH).

Le diagramme suivant donne le coefficient à appliquer aux valeurs données au § 26.2.

Dans l'habitation, le coefficient est limité à 1.



DÉGRESSION EN FONCTION DU NOMBRE D'ÉTAGES

• Bâtiments à usage d'habitation

Elle s'applique aux bâtiments à grand nombre de niveaux où les occupations des divers niveaux peuvent être considérées comme indépendantes. C'est le cas des bâtiments à usage d'habitation ou d'hébergement.

Cette dégression n'est pas cumulable avec les réductions pour grande surface. Elle s'applique à la valeur nominale de référence.

• Locaux industriels ou commerciaux

Lorsque des locaux industriels ou commerciaux occupent certains niveaux, ces derniers ne sont pas comptés dans le nombre d'étages intervenant dans la loi de dégression et les charges sur les planchers correspondants sont prises en compte sans abattement.

• Bâtiments de bureaux

Pour les bâtiments de bureaux, on applique la loi de dégression de base à la fraction de la charge d'exploitation égale à cette dernière diminuée de 1 kN/m².

DÉGRESSION EN FONCTION DU NOMBRE D'ÉTAGES (suite)

LOI DE DÉGRESSION DE BASE

La numérotation est effectuée à partir du sommet

Qo : valeur de référence pour le toit ou la terrasse couvrant le bâtiment ;
Qi : valeur de référence pour le plancher d'étage i ;
Qri : fraction de la charge de l'étage i à laquelle on n'applique pas la loi de dégression.

Valeurs des charges d'exploitation à prendre en compte pour le calcul :

sous le toit	Qo
sous le premier étage (à partir du haut)	$Qo + Q_1$
sous le deuxième étage	$Qo + 0{,}95 \sum_1^2 (Qi - Qri) + \sum_1^2 Qri$
sous le troisième étage	$Qo + 0{,}90 \sum_1^3 (Qi - Qri) + \sum_1^3 Qri$
sous le quatrième étage	$Qo + 0{,}85 \sum_1^4 (Qi - Qri) + \sum_1^4 Qri$
sous le cinquième étage et les suivants	$Qo + \frac{3+i}{2i} \sum_1^i (Qi - Qri) + \sum_1^i Qri$

26.4 CHARGES DUES À LA NEIGE (NF P 06-006 - RÈGLES N84 MODIFIÉES 1995)

CHARGE DE NEIGE SUR LE SOL ET CORRECTION D'ALTITUDE

Les règles N84 permettent de déterminer les charges dues à la neige qui s'exercent sur toute surface située au-dessus du sol et notamment sur les toitures. Les règles N84 s'appliquent aux constructions de la France métropolitaine situées à une altitude inférieure à 2 000 m.

La charge de neige sur le sol S_0 est fonction de la localisation géographique et de l'altitude du lieu considéré.

La France est divisée en 4 régions : 1, 2, 3 et 4.

Charge de neige	Zone 1A	1B	2A	2B	3	4
Sur le sol S_0 (kN/m²)	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,90
Charge accidentelle S_{0a} (kN/m²)	–	1,00	1,00	1,35	1,35	1,80



• **Zones dont l'altitude est inférieure à 200 m**

Charges accidentelles

Il est introduit une vérification sous charge accidentelle S_a dans certaines zones ou sous-zones conformément aux indications données avec la carte des charges de neige modifiée (ci-contre) qui reprend l'ensemble des indications concernant S_0 et S_{0a} (charges au sol).

La charge accidentelle S_a est obtenue en appliquant les coefficients μ de la même façon qu'à S_0. Elle est appliquée uniquement pour le « cas de charges » I des règles N 84 sans addition pour l'altitude. La charge S_1 est ajoutée, s'il y a lieu, à l'action accidentelle.

• **Zones dont l'altitude est supérieure à 200 m**

h en mètres et S_0 en kN/m²

– pour 200 m < h ≤ 500 m.

$$S_0 = S_0\text{min} + \left(\frac{0{,}15\,h - 30}{100}\right)$$

– pour 500 m < h ≤ 1 000 m

$$S_0 = S_0\text{min} + \left(\frac{0{,}3\,h - 105}{100}\right)$$

– pour 1 000 m < h ≤ 2 000 m

$$S_0 = S_0\text{min} + \left(\frac{0{,}45\,h - 255}{100}\right)$$

Note : au-delà de 2 000 m les documents du marché doivent préciser la valeur de la charge de neige à prendre en compte.

CHARGE DE NEIGE SUR LES TOITURES

VALEUR DE LA CHARGE S

La charge de neige S, par unité de surface en projection horizontale de toitures ou de toute autre surface soumise à l'accumulation de neige, est déterminée par la relation :

$S = \mu\, S_0 + S_1$	μ coefficient nominal fonction de la forme de la toiture S_0 valeur de la charge de neige sur le sol S_1 majoration de la charge de neige , égale : – 0,2 kN/m², lorsque la pente nominale du fil de l'eau de la partie enneigée de toiture (noues par exemple) est inférieure ou égale à 3 % ; – 0,1 kN/m², lorsque cette pente est comprise entre 3 et 5 %.

VALEURS DE μ

• **Différents cas de charge**

Pour une toiture donnée, on peut considérer :

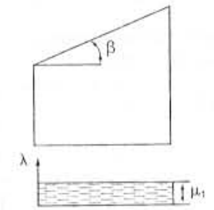
– 1 cas de charge (IV) correspondant aux déséquilibres de charge pouvant se produire sous l'effet de différents facteurs et phénomènes.

– 3 cas de charge liés à l'effet du vent :
- **cas I** : vent faible
- **cas II** : vent modéré (à partir de 21,6 km/h)
- **cas III** : vent fort (à partir de 72 km/h).

• **Valeurs de μ correspondant aux cas de charges I, II et III**

Toitures simples à un versant plan

CAS I



Toitures courantes	
0 ≤ β ≤ 30°	$\mu_1 = 0{,}8$
30° < β < 60°	$\mu_1 = 0{,}8 - 0{,}8\,(\frac{\beta - 30}{30})$
β ≥ 60°	$\mu_1 = 0$
Toitures avec dispositifs (1) de retenue	
0 ≤ β ≤ 45°	$\mu_1 = 0{,}8$
45° < β < 75°	$\mu_1 = 0{,}8 - 0{,}8\,(\frac{\beta - 45}{30})$
β ≥ 75°	$\mu_1 = 0$

(1) Tels que crochets, barres à neige intéressant l'ensemble de la surface et empêchant ou réduisant le glissement de la neige en fonction de la pente.

CAS II

Sans objet (couvert par le cas I).

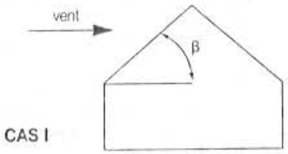
CAS III

Si la toiture est au vent : sans objet ($\mu_1 = 0$).

Si la toiture est sous le vent :
– si β ≤ 15° : sans objet ($\mu_1 = 0$)
– si β > 15° : les valeurs de μ_1 sont celles du cas I.

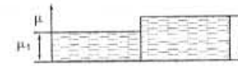
Toitures simples à deux versants plans

CAS I



Les valeurs de μ sont celles du cas I de la toiture type A.1

CAS II



Toitures courantes	
0 ≤ β ≤ 15°	$\mu_1 = \mu_2 = 0{,}8$
15° < β ≤ 30°	$\mu_1 = 0{,}8 - 0{,}4\,(\frac{\beta - 15}{15})$ $\mu_1 = 0{,}8 - 0{,}4\,(\frac{\beta - 15}{15})$
30° < β ≤ 60°	$\mu_1 = 0{,}4 - 0{,}4\,(\frac{\beta - 30}{30})$ $\mu_1 = 1{,}2 - 1{,}2\,(\frac{\beta - 30}{30})$
β > 60°	$\mu_1 = \mu_2 = 0$

Avec les limitations suivantes :

pour 22,5° < β < 35° $\mu_2 = 1$

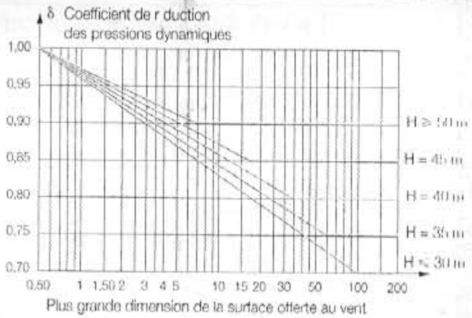
• **Toitures plus complexes**

Pour les cas de toitures plus complexes, se référer au DTU 06-006, règles N84 modifiées 1995.

MODIFICATIONS DES PRESSIONS DYNAMIQUES DE BASE (suite)

■ EFFET DES DIMENSIONS

Les pressions dynamiques correspondant à chaque niveau d'une construction doivent être affectées d'un coefficient de réduction δ, déterminé en fonction de la plus grande dimension horizontale ou verticale de la surface offerte au vent intéressant l'élément de stabilité considéré.



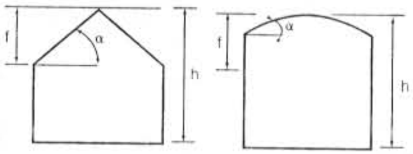
CONSTRUCTIONS COURANTES À BASE RECTANGULAIRE

MÉTHODE SIMPLIFIÉE

Les règles N. V. 65 définissent les constructions d'après :
- leur forme d'ensemble
- leur position dans l'espace
- la perméabilité des parois

La méthode simplifiée ne peut s'appliquer que dans le cas de constructions prismatiques à base rectangulaire qui respectent les caractéristiques suivantes :

- construction constituée par un bloc unique ou des blocs associés à toiture unique ;
- la base au niveau du sol est un rectangle de longueur a et de largeur b ;
- la hauteur maximale h est inférieure ou égale à 30 m ;
- la couverture est soit :
  - une toiture terrasse,
  - une toiture unique,
  - une voûte ;



$f \leq \frac{h}{2}$ $\alpha \leq 40°$ $f \leq \frac{2}{3}$ h $22° \leq \alpha \leq 40°$

ou $0{,}404 \leq \tan \alpha \leq 0{,}839$

- les dimensions doivent obligatoirement repecter les conditions suivantes :
  - le rapport h/a est supérieur ou égal à 0,25,
  - le rapport h/a ≤ 2,5 avec la condition supplémentaire b/a ≤ 0,4 si h/b > 2,5,
  - f ≤ h/2 pour les toitures à 2 versants plans,
  - f ≤ 2 h/3 pour les toitures en voûte ;
- les parois verticales doivent :
  - reposer directement sur le sol,
  - être planes sans décrochement,
  - présenter une perméabilité μ ≤ 5 ou pour une seule d'entre elles ≥ 35.

Une paroi a une perméabilité au vent de μ % si elle comporte des ouvertures de dimensions quelconques dont la somme des aires représente μ % de son aire totale.

- la construction doit être située sur un terrain sensiblement horizontal dans un grand périmètre.

■ PRESSIONS DYNAMIQUES

Elles sont constantes sur toute la hauteur de la construction et ont pour valeur :

$$q = (46 + 0{,}7\ h)\ k_r\ k_s\ \text{daN/m}^2$$

k_r : coefficient de région

k_s : coefficient de site

Les valeurs obtenues doivent être corrigées pour tenir compte :
- de l'effet de masque,
- de l'effet des dimensions,
- des réductions maximales autorisées.

	Pression normale	Pression extrême
région I	1,00	1,75
région II	1,40	2,45
région III	1,80	3,15

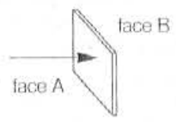
CONSTRUCTIONS COURANTES À BASE RECTANGULAIRE

MÉTHODE SIMPLIFIÉE (suite)

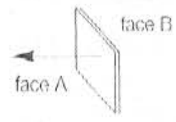
■ ACTIONS EXTÉRIEURES

La direction du vent étant supposée normale aux parois verticales de la construction, les coefficients à prendre en compte sont les suivants :

- **Parois verticales**
  - au vent Ce = + 0,8
  - sous le vent Ce = – 0,5



Pression ou surpression sur la face A : c > 0



Succion ou dépression sur la face A : c < 0

- **Toiture**
  - vent normal aux génératrices

		versants plans	voûte
	|α|	0° < |α| < 10° 10° < |α| < 40°	0° < |α| < 10° 10° < |α| < 40°
au vent	Ce	$-2\left(0{,}25 + \frac{\|\alpha\|}{100}\right)$ $-2\left(0{,}45 - \frac{\|\alpha\|}{100}\right)$	$-1{,}8\left(0{,}40 + \frac{\|\alpha\|}{100}\right)$(1) $-2\left(0{,}50 - \frac{\|\alpha\|}{100}\right)$
sous le vent	Ce	$-1{,}5\left(0{,}333 - \frac{\|\alpha\|}{100}\right)$ $-0{,}5\left(0{,}60 + \frac{\|\alpha\|}{100}\right)$	$-1{,}8\left(0{,}40 - \frac{\|\alpha\|}{100}\right)$ $-1{,}8\left(0{,}40 - \frac{\|\alpha\|}{100}\right)$(2)

Ce { coefficient de pression moyen (versants plans) ou le coefficient de pression ponctuel (voûte).

α { l'angle en degrés du versant avec le plan horizontal ou de la tangente à la voûte avec l'horizontale.

(1) avec minimum = – 0,8
(2) avec maximum = – 0,27

- vent parallèle aux génératrices

On adopte pour « Ce » la valeur du tableau ci-dessus correspondant à α = 0 pour les versants plans.

■ ACTIONS INTÉRIEURES

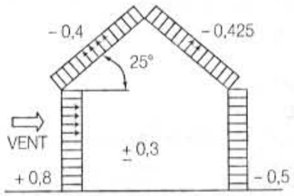
- **Constructions fermées**

Ci = ± 0,3

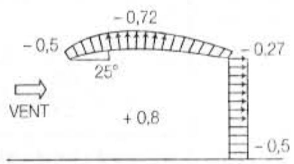
- **Constructions ouvertes**
  - au vent Ci = + 0,8
  - sous le vent Ci = – 0,5

Exemple d'application des coefficients :

Construction fermée à deux versants plans



Construction ouverte à toiture en voûte à génératrice circulaire



■ ACTIONS RÉSULTANTES SUR LES PAROIS ET VERSANTS

Elles sont déterminées en combinant de la façon la plus défavorable pour chaque élément, les actions extérieures moyennes et les actions intérieures.

Elles ont pour valeur :

$$q\ (Ce - Ci)$$

27 STATIQUE

27.1 RAPPELS

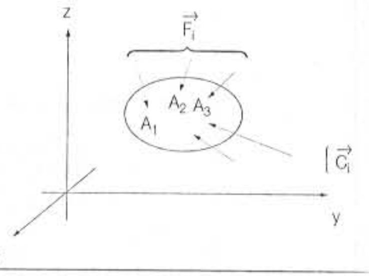
HYPOTHÈSES ET PRINCIPES

Hypothèse d'indéformabilité, de rigidité des corps solides matériels.
Principes de représentation vectorielle des forces.
Principe d'inertie de Galilée, etc.

CONVENTION DE NOTATION

La convention de signe générale habituellement retenue est la suivante. Dans le repère orthonormé ci-contre défini :

- S_i est un solide matériel indéformable
- A_i de coordonnées x_i, y_i, z_i est le point d'application des actions
- $\vec{F_i}$ est une force de composantes X_i, Y_i et Z_i
- $\vec{C_i}$ est un couple de composantes L_i, M_i et N_i



PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA STATIQUE (PFS)

- Somme des projections des forces sur les axes x, y et z :

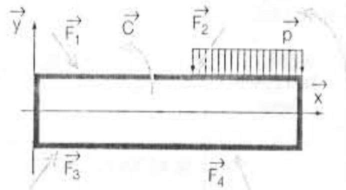
$$\Sigma \vec{F_i} = \vec{0}$$

- Somme des moments dans les plans Oxy, Oxz et Oyz :

$$\Sigma \vec{C_i} + \Sigma \overrightarrow{OA_i} \wedge \vec{F_i} = \vec{0}$$

CAS DU PROBLÈME PLAN

Les forces sont coplanaires.
Il existe des couples d'axes perpendiculaires au plan.



27.2 ÉQUILIBRE STATIQUE DANS LE PLAN

MÉTHODE ANALYTIQUE

Le principe fondamental de la statique (PFS) s'écrit alors en 3 équations :

$$\begin{cases} \text{Somme des projections des forces sur l'axe des } x = 0 \\ \text{Somme des projections des forces sur l'axe des } y = 0 \\ \text{Somme des moments dans le plan } Oxy = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \Sigma X_i = 0 \\ \Sigma Y_i = 0 \\ \Sigma N_i + \Sigma (x_i Y_i - y_i X_i) = 0 \end{cases}$$

soit

$$\begin{cases} F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} + p_x = 0 \\ F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} + p_y = 0 \\ C + \Sigma \text{ (moment de } F_1, F_2, F_3, F_4 \text{ et p)/un point quelconque} = 0 \end{cases}$$

MÉTHODE GRAPHIQUE APPLIQUÉE AU PROBLÈME PLAN

Conformément au principe de représentation vectorielle des forces, on trace le dynamique puis le funiculaire du système de forces :

- Si le **dynamique est ouvert**, le système **n'est pas en équilibre**, il faudra appliquer une force opposée à la résultante obtenue.
- Si le **dynamique est fermé** et le **funiculaire ouvert**, le système **n'est pas en équilibre, il est soumis à un couple de forces.**
- Si **le dynamique est fermé** et le funiculaire fermé, le système est **en équilibre.**

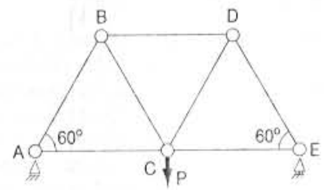
CAS PARTICULIER DES SYSTÈMES TRIANGULÉS ISOSTATIQUES

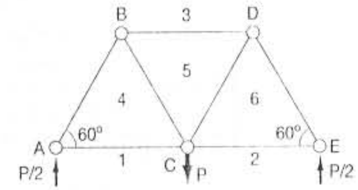
■ MÉTHODE GRAPHIQUE DE CREMONA

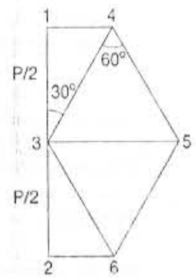
(barres articulées, liaisons idéales, efforts appliqués aux nœuds)
Après avoir isolé et résolu par la statique le système global, on trace pour chaque nœud le polygone des forces qui lui sont appliquées. Chaque nœud étant en équilibre, le polygone est fermé ce qui permet la détermination graphique des efforts dans les barres adjacentes. En procédant de proche en proche pour tous les nœuds du système, on détermine tous les efforts dans toutes les barres.

- **Méthodologie**

- Isoler le système et vérifier que la méthode s'applique.
- Résoudre par la statique le système pris globalement.
- Numéroter les nœuds et les régions du plan.
- Choisir un sens positif de rotation autour des nœuds et une échelle de représentation des intensités de forces.
- Tracer le polygone des forces à partir d'un nœud soumis à une force extérieure ou une action de liaison.
- Déterminer l'intensité et le signe des efforts dans les barres.
- Procéder de proche en proche pour tous les nœuds jusqu'à résolution totale.







Barre	Numéro	Effort
AB	4 - 3	- P / √3
AC	1 - 4	P / 2 √3
BC	4 - 5	P / √3
BD	2 - 3	- P / √3
CD	6 - 5	P / √3
CE	2 - 6	P / 2 √3
DE	6 - 3	- P / √3

■ MÉTHODE ANALYTIQUE DE RITTER

Elle s'applique en complément de la méthode de Cremona lorsqu'il est impossible de commencer le tracé (plus de deux barres arrive en un nœud).

- **Méthodologie**

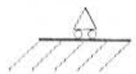
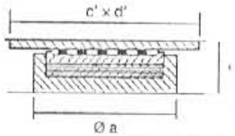
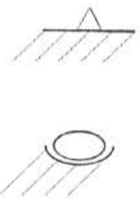
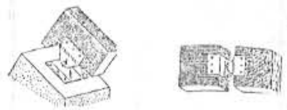
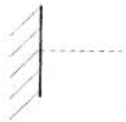
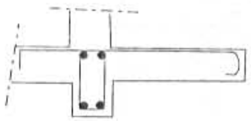
- On effectue alors une coupure fictive de deux barres, qui décompose le système en deux tronçons.
- On écrit l'équilibre global d'un tronçon. Connaissant les actions extérieures et de liaison, on choisit astucieusement une équation de moment par rapport à un point correspondant au support d'une des barres fictivement coupée (ce qui permet de trouver l'action dans l'autre barre).
- On résout ensuite le système nœud après nœud.

27.3 LIAISONS USUELLES - ISOSTATICITÉ

PRINCIPE

Les liaisons constituent des obstacles empêchant ou limitant la liberté de mouvement du système matériel en ces endroits.
On ne considère que des liaisons idéales (la transmission des efforts est toujours intégrale).
Une action de liaison bloque un (des) degré(s) de liberté du système matériel isolé et réciproquement.

CAS DE PROBLÈME PLAN

Type de liaison	Mouvements empêchés	Degré de liberté	Modellisation	Exemple
Appui simple	1 Translation	2 ddl		Appui de pont «glissant» 
Articulation	2 Translations	1 ddl		Axe de liaison charpente lamellé collé/massif béton Articulation d'appui sur un socle en béton armé Liaison de faîte pour un arc à 3 articulations 
Encastrement	2 Translations 1 Rotation	0 ddl		Liaison console 

CRITÈRE D'HYPERSTATICITÉ

• Principe des méthodes de détermination du degré d'hyperstaticité

- Compter le nombre d'inconnues de liaison I et le nombre d'équations apportées par chaque barre E.
- Comparer ensuite I et E ;

le degré d'hyperstaticité est k = I – E.

• Si I < E, le système est hypostatique (il est instable : c'est un mécanisme),

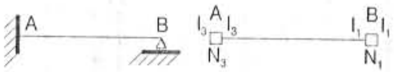
• Si I = E, le système est isostatique (il est stable, on peut résoudre par l'application du PFS*),

• Si I > E, le système est hyperstatique (il est stable avec des liaisons surabondantes).

Le PFS* seul ne suffit pas, il faut autant d'autres équations qu'il y a de liaisons surabondantes).

* *PFS : Principe Fondamental de la Statique*

• Une méthode pratique (problème plan) :



ΣI_i : nombre d'inconnues
ΣN_i : nombre de nœuds
2 nœuds : A (N_3) et B(N_1)
b : nombre de barres

$$k = \Sigma I_i - \Sigma N_i - 3.b$$

Nœud A : I_3 avec le support I_3 avec la barre AB
Nœud B : I_1 avec le support I_1 avec la barre AB

$$k = (3 + 3 + 1 + 1) - (3 + 1) - (3 \times 1) = 1$$

Hyperstatique de degré 1

27.4 CENTRE DE GRAVITÉ - MOMENT STATIQUE

■ DÉFINITION

Le centre de gravité d'un solide quelconque est le barycentre de tous les points élémentaires affecté de coefficients égaux à leur masse élémentaire.

■ MODES DE CALCUL

Si ce solide est une surface plane homogène S, on décompose la surface plane S en surfaces élémentaires s_i dont on connait les positions de centre de gravité x_{gi} et y_{gi} ; on calcule les coordonnées de son centre de gravité G :

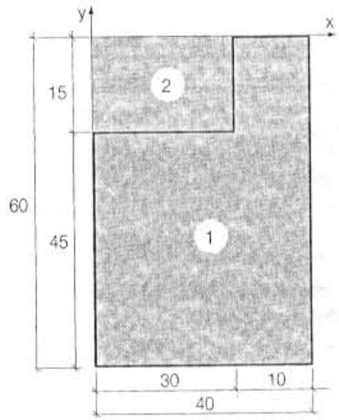
$$X_G = \frac{\Sigma (x_{gi}.s_i)}{\Sigma s_i} \qquad Y_G = \frac{\Sigma (y_{gi}.s_i)}{\Sigma s_i}$$

De plus, pour calculer un centre de gravité, on utilise le fait que le moment statique d'une surface plane homogène S par rapport à un axe situé dans son plan est égal au produit de l'aire de la surface par la distance de son centre de gravité à l'axe considéré.

$S_{Gy} = \int_{(S)} x \,.\, ds = X_G \,.\, S$ soit $X_G = \ldots$
$S_{Gx} = \int_{(S)} y \,.\, ds = Y_G \,.\, S$ soit $Y_G = \ldots$

CAS SURFACE PLANE ET HOMOGÈNE

■ EXEMPLE DE CALCUL : CAS D'UNE POUTRE



1. La décomposition retenue a consisté à faire la différence de 2 surfaces élémentaires 1 et 2 ; on aurait pu décomposer en 2 surfaces complémentaires.
2. Le moment statique d'une surface par rapport à un axe passant par son cdg est nul.

Le tableau ci-dessous propose une présentation efficace des calculs (poutre avec relevé, cotes en cm).

Surface élémentaire	s_i	x_i	$x_i \,.\, s_i$	y_i	$y_i \,.\, s_i$
1	40 × 60	20	48 000	– 30	– 72 000
2	30 × 15	15	6 750	– 7,5	– 3 375
Total (1 – 2)	1 950		41 250		– 68 625

X_G = 21,15 cm **Y_G = – 35,19 cm**

27.5 INERTIE – MOMENT QUADRATIQUE

DÉFINITION ET CALCUL

Le moment quadratique d'une section caractérise l'aspect géométrique de sa rigidité en flexion. Dans le plan de la section, on définit deux moments quadratiques $I_{xx'}$ et $I_{yy'}$ (qui sont toujours positifs), et un produit d'inertie I_{xy}, suivant les axes du repère choisi.

Si xx' et yy' sont axes de symétrie de la section, $I_{xx'}$ et $I_{yy'}$ sont les minima pour chaque axe, et I_{xy} est nul.

Soit la section de surface S.

$$I_{xx'}(S) = \int_{(S)} y^2 . ds \qquad I_{yy'}(S) = \int_{(S)} x^2 . ds \qquad I_{xy}(S) = \int_{(S)} xy . ds$$

MODES DE CALCUL EN FONCTION DES SECTIONS

MÉTHODE ANALYTIQUE

– Section rectangulaire (b : base ; h : hauteur)

$$I_{Gxx'}(S) = \frac{b.h^3}{12}$$

– Section circulaire (d : diamètre)

$$I_{Gxx'}(S) = \frac{\pi.d^4}{64}$$

• **Autres cas**

Dans certains cas, il peut être pratique de calculer un moment d'inertie polaire :

$$I_0(S) = \int_{(S)} \rho^2 . ds$$

On démontre que

$$I_0(S) = I_{xx'}(S) + I_{yy'}(S).$$

On connaît généralement les moments quadratiques par rapport aux axes passant par le cdg de la section S ; si on souhaite le calculer par rapport à un axe quelconque, il conviendra de lui adjoindre le « transport de Huygens », doit :

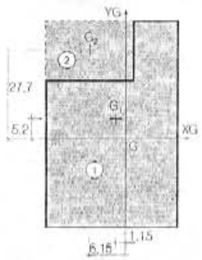
$$I_{xx'}(S) = I_{Gxx'}(S) + S.d^2$$

avec d : distance entre xx' et Gxx'.

Dans le cas de sections complexes, on décompose en sections élémentaires et on « transporte » par Huygens jusqu'à l'axe passant par le centre de gravité de la section complexe (qui fait office d'axe quelconque pour les sections élémentaires).

EXEMPLE DE CALCUL : CAS D'UNE POUTRE FLÉCHIE

Si on reprend l'exemple traité pour le calcul du cdg (poutre fléchie avec relevé, cotes en cm) :



1. Un moment quadratique (ou inertie) est toujours positif.
2. Le produit d'inertie est nul si les axes de calcul sont les axes de symétrie de la surface.

Surface élémentaire	Inertie/Gi xx'	Distance (Gxx' ; Gi xx')	Inertie Gxx'	Inertie Gi yy'	Distance (Gyy' ; Gi yy')	Inertie Gyy'
1	720 000,00	5,20	784 896,00	320 000,00	1,15	323 174,00
2	8 437,50	27,70	353 718,00	33 750,00	6,15	50 770,12
Total (1 - 2)			431 178,00			272 403,88

$I_{Gxx'} = 431\,178$ cm^4 $\qquad$ $I_{Gyy'} = 272\,404$ cm^4

28 CINÉMATIQUE ET DYNAMIQUE

28.1 CINÉMATIQUE

La cinématique est la partie de la mécanique qui étudie les mouvements du corps, sans tenir compte des forces qui les produisent.

Les solides étudiés sont supposés être parfaitement indéformables.

SYSTÈME DE RÉFÉRENCE

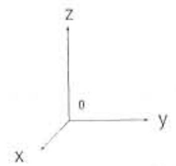
• **Solide de référence**

Le mouvement d'un solide est défini par rapport à un autre solide pris comme référence (exemples : automobile par rapport à la route, avion par rapport au sol, etc.). À tout solide de référence est lié un repère d'espace.

• **Repère de temps**

Le temps est considéré comme absolu et uniforme (chaque fragment de temps est identique au suivant). L'unité de base est la seconde.

Système de référence = repère d'espace + repère de temps





MOUVEMENTS

• **Mouvement absolu**

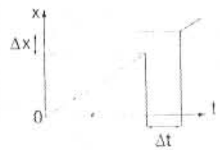
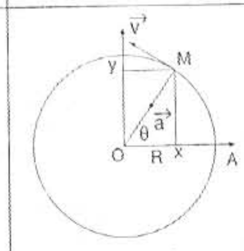
Mouvement décrit par rapport à un système de référence au repos absolu (la terre est un système de référence absolu).

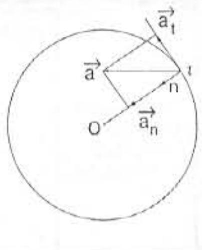
• **Mouvement relatif**

Mouvement décrit par rapport à un système de référence en mouvement (ce système de référence est appelé repère relatif).

MOUVEMENT DU POINT MATÉRIEL M

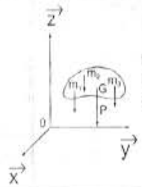
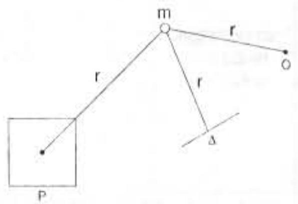
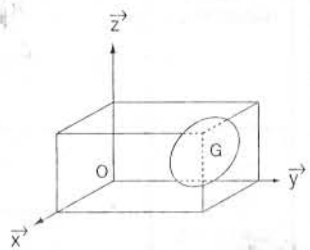
Notation employée : Déplacements : e ou s ; Vitesse : $\vec{v}$; Accélération : $\vec{a}$

Rectiligne uniforme	$e = v \cdot t$ $\vec{v} = \frac{\Delta t}{\Delta t} = Cte$ $\qquad$ $\vec{a} = 0$	
Rectiligne uniformément varié	$e = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + e_0$ $\vec{v} = at + v_0$ $\qquad$ $\vec{a} = Cte$	
Circulaire uniforme	$S = \widehat{AM} = R\theta$ $M \begin{cases} x = R\cos\theta \\ y = R\sin\theta \end{cases}$ $\vec{v} = \frac{ds}{dt} = R\frac{d\theta}{dt}$ $\qquad$ $\vec{w} = \frac{d\theta}{dt}$ $\vec{v_x} = -R\,\omega \sin \omega t$ $\vec{v_y} = R\,\omega \cos \omega t$ $\vec{a} = R\,\omega^2$ $\qquad$ $\vec{a} = \frac{v_2}{R}$	 Période $T = \frac{2\pi}{\omega}$ Fréquence $N = \frac{1}{T}$

MOUVEMENT DU POINT MATÉRIEL M (suite)	Circulaire uniformément varié accéléré + retardé −	$\theta = \pm \frac{1}{2}\omega' t^2 + \omega_0 t + \theta_0$ $\vec{v} = \omega R$ $\omega = \omega_0 + \omega' t$ $\vec{a} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d_2\theta}{dt^2}$ Composantes $\vec{a_t} = r\frac{d\omega}{dt}\tau$ $\vec{a_n} = \omega^2 r \cdot n$	

28.2 DYNAMIQUE

DÉFINITIONS	La dynamique est la partie de la mécanique qui étudie les mouvements des solides en relation avec les forces qui les produisent. Comme en statique, en dynamique les actions mutuelles sont égales et opposées.

PRINCIPES GÉNÉRAUX	Loi fondamentale	$\vec{F} = M\vec{a_g}$	 F : force en newtons M : masse en kg a_g : accélération en m.s⁻² (anciennement σ)
	Masse : M Poids : $\vec{P}$ Barycentre : G (ou centre d'inertie)	$M = \Sigma m_1\ m_2\ m_3 \ldots$ $\vec{P} = M\vec{g}$	
	Moment d'inertie J d'un système matériel	$J = \Sigma mr^2$ par rapport à un plan J_p, à un axe J_Δ, à un point J_O $J = M_\rho^2$	
	Calculs de J (avec une densité prise comme unité)	Pour un volume $J = \iiint r^2\ dx, dy, dz$ Pour une surface plane $J = \iint r^2\ dx, dy$ Pour une ligne $J = \int r^2\ ds$	r distance en m. de *m* par rapport à P, Δ, O M Masse totale de barycentre G en kg r rayon de giration (distance de G à P, Δ, O) J en kg.m²
	Propriétés des moments d'inertie	$J_{oz} = J_{zox} + J_{yox}$ $J_{zox} = \Sigma m^2$ $J_{yoz} = \Sigma mx^2$ $J_{xoy} = \Sigma mz^2$ $J_o = J_{yoz} + J_{zox} + J_{xoy}$ $J_o = \Sigma (x^2 + y^2 + z^2)$ $J_o = \frac{J_{ox} + J_{oy} + J_{oz}}{2}$ $J_{ox} = \Sigma m (y^2 + z^2)$ $J_{oy} = \Sigma m (z^2 + x^2)$ $J_{oz} = \Sigma m (x^2 + y^2)$	

29 RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

BUT ET HYPOTHÈSES DE LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Le but de la résistance des matériaux est de quantifier contraintes et déformations pour des structures faiblement déformables afin de les dimensionner (grâce à des lois rhéologiques) et de prévoir leur comportement.

Cet outil de calcul est issu de la mécanique des milieux continus, et comporte quelques limites d'utilisation car il est relativement simple d'emploi ; les hypothèses et domaines de validité sont donc les suivants :

Hypothèses sur le matériau
- Matériau homogène, isotrope, à loi de comportement linéaire élastique.

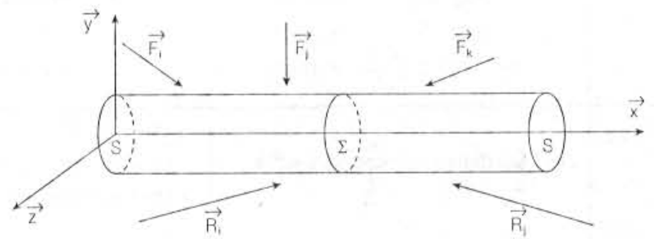
Hypothèses sur la structure
- Structure de type poutre (forme de la section S, élancement minimum, variation progressive de S).

Hypothèses fondamentales
- Petites déformations et petits déplacements (calcul dans l'état géométrique initial).
- Chargement statique.
- Hypothèse de Saint-Venant (Rdm valable loin du point d'application des actions).
- Hypothèse de Navier Bernouilli (sections planes et perpendiculaires à la fibre moyenne avant la déformation le restent pendant et après la déformation).
- Principe de superposition (lois linéaires).

29.1 ÉVALUATION DES SOLLICITATIONS

DÉTERMINATION DES SOLLICITATIONS

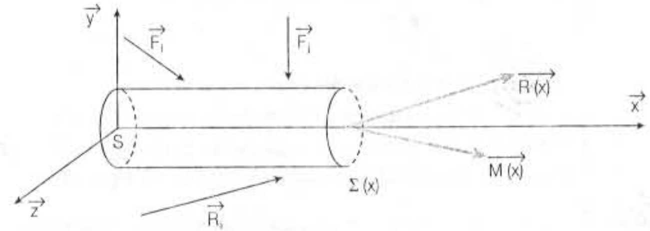
La théorie des poutres permet de déterminer les sollicitations dans une structure.
Soit une poutre droite :



On isole le tronçon situé à gauche de la coupure fictive S, et on remplace les actions du tronçon de droite sur celui de gauche par un « torseur des contraintes généralisées » où :

R(x) est la résultante au niveau de la coupure S, des forces que la partie droite exerce sur la partie gauche isolée,

M(x) est la résultante au niveau de la coupure S, des moments que la partie droite exerce sur la partie gauche isolée.



On appelle **sollicitations**, les projections de $\vec{R(x)}$ et $\vec{M(x)}$ sur les axes de l'espace **x, y** et **z**.

TYPES DE SOLLICITATIONS

Projection de $\overrightarrow{R(x)}$ sur x :	$N(x)$	Effort normal
Projection de $\overrightarrow{R(x)}$ sur y :	$V_y(x)$	Effort tranchant suivant y
Projection de $\overrightarrow{R(x)}$ sur z :	$V_z(x)$	Effort tranchant suivant z
Projection de $\overrightarrow{M(x)}$ sur x :	$M_t(x)$	Moment de torsion
Projection de $\overrightarrow{M(x)}$ sur y :	$M_y(x)$	Moment fléchissant suivant y
Projection de $\overrightarrow{M(x)}$ sur z :	$M_z(x)$	Moment fléchissant suivant z

SOLLICITATIONS COURANTES

• **Traction – Compression**

$N(x) \neq 0$ $M_t(X) = 0$
$V_y(X) = 0$ $M_y(x) = 0$
$V_z(X) = 0$ $M_z(x) = 0$

• **Flexion déviée**

$N(x) = 0$ $M_t(X) = 0$
$V_y(X) \neq 0$ $M_y(x) \neq 0$
$V_z(X) \neq 0$ et $M_z(x) \neq 0$

• **Flexion pure**

$N(x) = 0$ $M_t(X) = 0$
$V_y(X) = 0$ $M_y(x) \neq 0$
$V_z(X) = 0$ ou $M_z(x) \neq 0$

• **Flexion composée**

$N(x) \neq 0$ $M_t(X) = 0$
$V_y(X) \neq 0$ $M_y(x) \neq 0$
ou $V_z(X) \neq 0$ ou $M_z(x) \neq 0$

• **Flexion simple**

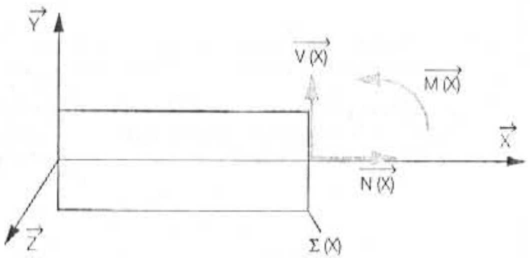
$N(x) = 0$ $M_t(X) = 0$
$V_y(X) \neq 0$ $M_y(x) \neq 0$
ou $V_z(X) \neq 0$ ou $M_z(x) \neq 0$

• **Torsion pure**

$N(x) = 0$ $M_t(X) \neq 0$
$V_y(X) = 0$ $M_y(x) = 0$
$V_z(X) = 0$ $M_z(x) = 0$

PROBLÈME PLAN

Les sollicitations sont de trois types :
- Effort normal $N(x)$
- Effort tranchant suivant y $V_y(x) = V(x)$
- Moment fléchissant suivant z $M_z(x) = M(x)$



On traduit donc l'équilibre des efforts et des moments :

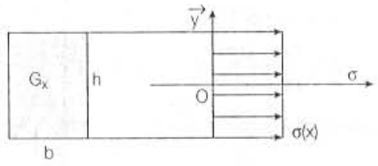
Σ (projections sur x des forces à gauche de Σ (x)) + N(x) = 0
Σ (projections sur y des forces à gauche de Σ (x)) + V(x) = 0 d'où ⇒ { N(x) = … ; V(x) = … ; M(x) = …
Σ (moment des actions à gauche de Σ (x))/Σ (x) + M(x) = 0

Les sollicitations ainsi définies s'apparentent à des actions intérieures à la matière qui équilibrent les actions extérieures appliquées à la partie gauche de la poutre par rapport à Σ (x).

29.2 CALCUL DES CONTRAINTES NORMALES USUELLES

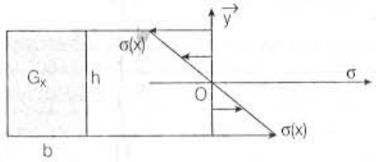
SOLLICITATION UNIAXIALE DE TRACTION-COMPRESSION

Hypothèse de répartition uniforme



$$\sigma(x) = \frac{N(x)}{S}$$

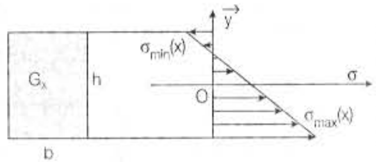
SOLLICITATION DE FLEXION



$$\sigma(x,y) = -\frac{M(x)}{I/y}$$ avec $y_{max} = V = \pm \frac{h}{2}$

SOLLICITATION DE FLEXION COMPOSÉE

Hypothèse de répartition uniforme de N(x)

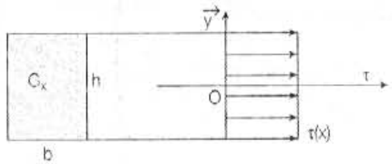


$$\sigma(x,y) = \frac{N(x)}{S} \pm \frac{M(x)}{I/y}$$ avec $y_{max} = V = \pm \frac{h}{2}$

29.3 CALCUL DES CONTRAINTES TANGENTES

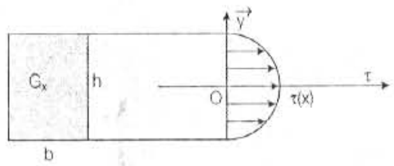
CONTRAINTE TANGENTE TRANSVERSALE

Hypothèse de répartition uniforme



$$\tau(x) = \frac{V(x)}{S}$$

CONTRAINTE TANGENTE LONGITUDINALE



$$\tau(x,y) = \frac{V(x) \cdot S_{GZ}}{b \cdot I_{GZ}}$$

29.4 CALCUL DES DÉFORMATIONS

CAS DE SOLLICITATIONS UNIAXIALES DE TRACTION OU COMPRESSION

A partir de la loi de Hooke

$$\sigma(x) = E.\varepsilon(x)$$

Avec E : module d'élasticité du matériau constitutif de la structure

CAS DE SOLLICITATIONS DE FLEXION

A partir de l'équation de la déformée

$$E\,I\,y''(x) = M(x)$$

à intégrer deux fois en tenant compte des conditions aux limites

$$E\,I\,y''(x) = M(x)$$

$$E\,I\,y'(x) = \int_{(s)} M(x)dx \quad + C_1$$

$$E\,I\,y(x) = \int_{(s)}\left(\int_{(s)} M(x)dx\right) + C_1 x + C_2$$

où C_1 et C_2 sont les constantes d'intégration d'où $y(x) = \ldots$

La flèche en un point quelconque sera obtenue en remplaçant x par l'abscisse de ce point.

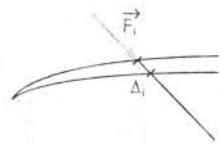
THÉORÈMES ÉNERGÉTIQUES DE CASTIGLIANO

L'énergie de déformation (ou potentiel total) d'une structure sollicitée par N(x), V(x) et M(x) est :

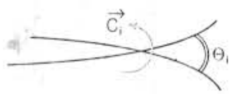
$$W = \int_{(s)} \frac{1}{2}\left(\frac{N(x)^2}{E.S} + \frac{V(x)^2}{G.S'} + \frac{M(x)^2}{E.I_{Gz}}\right) dx$$

Le théorème de Castigliano permet de calculer le déplacement algébrique du point d'application d'une force sur son support.

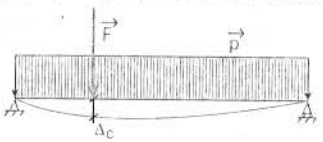
C'est la dérivée du potentiel par rapport à cet effort : $\Delta_i = \frac{dW}{dF_i}$



Idem pour le calcul d'une rotation due à un couple : $\Theta_i = \frac{dW}{dC_i}$



Pour le calcul d'un déplacement (ou d'une rotation) en un point où il n'y a pas de force (ou de couple) appliqué, on applique le théorème de la charge fictive :

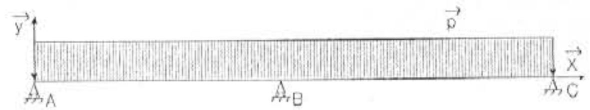


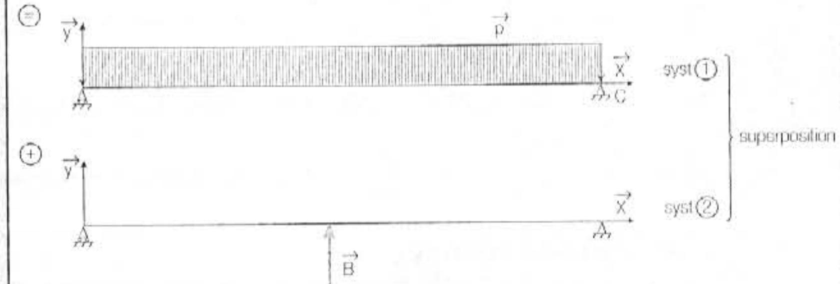
$$\Delta_C = \frac{dW(p,F)}{dF} \quad \text{pour } F \longrightarrow 0$$

29.5 MÉTHODES DE RÉSOLUTION DES SYSTÈMES HYPERSTATIQUES

APPLICATION DU PRINCIPE DE SUPERPOSITION

ÉGALITÉ DES FLÈCHES





$E\,I\,y_1''(x) = M_1(x)$ intégration + conditions limites $\Rightarrow$ $y_1(x)$ = déterminé

$E\,I\,y_2''(x) = M_2(x)$ intégration + conditions limites $\Rightarrow$ $y_2(x)$ = fonction de l'inconnue B

superposition $y_1(x) + y_2(x) = 0$ d'où $B = \ldots$

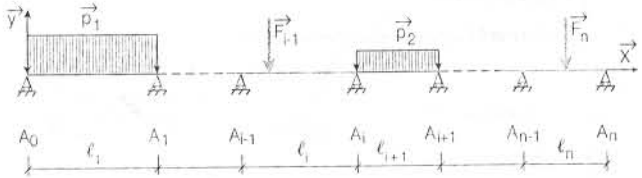
MÉTHODE DES TROIS MOMENTS (POUTRES CONTINUES)

Cette méthode s'applique à des poutres droites reposant sur plus de deux appuis incompressibles.

Les poutres sont uniquement soumises à des actions verticales (sinon on décompose en deux systèmes).

Les liaisons sont idéales, le matériau conforme aux hypothèses de la Rdm.

E I est constant sur une même travée, et l'effet de l'effort tranchant est négligé.



Note : Les (n+1) appuis sont numérotés de 0 à n ; les n travées sont numérotées de 1 à n.

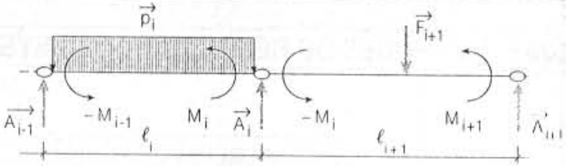
■ **PRINCIPE DE LA MÉTHODE**

La statique donne deux équations et on a (n+1) inconnues de liaisons : le système est hyperstatique de degré (n–1).

- Pour résoudre, il faudra trouver (n–1) équations complémentaires.
- On choisit comme inconnues hyperstatiques, les (n–1) moments fléchissants sur appuis intermédiaires.
- En écrivant le théorème des trois moments au droit de chacun des (n–1) appuis choisis « hyperstatiques », on obtiendra donc (n–1) équations à (n–1) moments fléchissants inconnus.
- Ces (n–1) moments fléchissants déterminés, et à l'aide des deux équations de la statique, on calculera toutes les sollicitations et toutes les actions de liaisons.

MÉTHODE DES TROIS MOMENTS (suite)

Soit pour l'appui A_i, on isole les deux travées adjacentes et on fait apparaître les moments fléchissants sur appuis (les M_i compensent les rotations des poutres isostatiques associées).



Pour chaque appui intermédiaire A_i (de A_1 à A_{n-1}) et ses travées adjacentes, on écrit une relation des trois moments concernés (M_{i-1}, M_i, M_{i+1}).

Sur l'appui A_i : $b_i M_{i-1} + (a_{i+1} + c_i)M_i + b_{i+1}M_{i+1} = \omega_{id} - \omega_{ig}$

avec $a_i = c_i = \dfrac{\ell_i}{3(EI)_i}$; $b_i = \dfrac{\ell_i}{6(EI)_i}$; ω_{id} et ω_{ig} rotation à droite et à gauche de l'appui i.

FORMULATION USUELLE

Si EI est constant tout le long de la poutre, alors l'expression du théorème des trois moments devient :

Sur l'appui A_i : $\ell_i M_{i-1} + 2(\ell_{i+1} + \ell_i)M_i + \ell_{i+1}M_{i+1} = 6EI(\omega_{id} - \omega_{ig})$

Cette équation étant écrite pour chaque appui intermédiaire A_i (de A_1 à A_{n-1}), on obtient un système :

- n–1 équations
- (n–1) inconnues hyperstatiques M_i (de M_1 à M_{n-1})

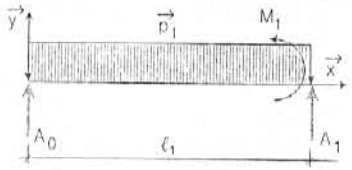
On résout le système et on trouve les (n–1) inconnues hyperstatiques M_i.

CALCUL DES ACTIONS DE LIAISON

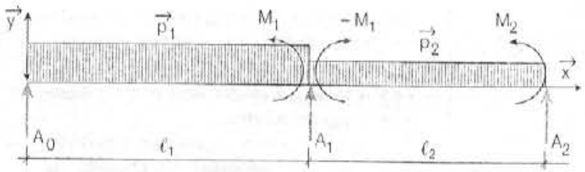
Connaissant les valeurs de Mi, on peut calculer directement les actions de liaison, et en déduire les sollicitations.

En écrivant l'équilibre statique des travées isostatiques associées :

Σ moments/A_1 = 0
d'où A_0 = ...



Σ moments/A_2 = 0
d'où A_1 = ...



Etc.
Le système étant ainsi statiquement déterminé, on en déduit les sollicitations.

MÉTHODE DES TROIS MOMENTS (suite)

CALCUL DES SOLLICITATIONS

On peut calculer les sollicitations, et en déduire les actions de liaison :
Le moment fléchissant dans la travée (A_{i-1}, A_i) résulte de la superposition du moment fléchissant de la travée isostatique associée et de l'influence des moments fléchissants sur les appuis.

Dans la travée (A_{i-1}, A_i) $\quad M_i(x) = \upsilon_i(x) + M_{i-1}\left(\dfrac{1-x}{\ell_i}\right) + \dfrac{M_i \cdot x}{\ell_i}$

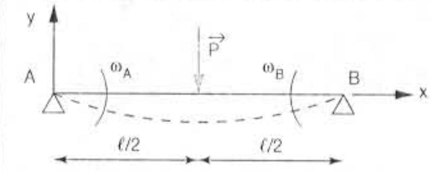
L'effort tranchant dans la travée (A_{i-1}, A_i) s'en déduit en dérivant le moment fléchissant changé de signe :

Dans la travée (A_{i-1}, A_i) $\quad V_i(x) = -\dfrac{dM_i(x)}{dx} = -\dfrac{d\upsilon_i(x)}{dx} + \dfrac{M_{i-1}}{\ell_i} - \dfrac{M_i}{\ell_i}$

Les actions d'appuis :

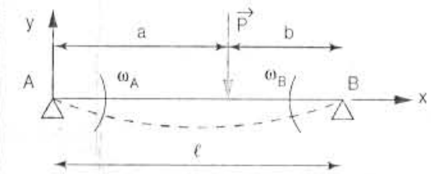
$$A_i = V_i(\ell_i) - V_{i+1}(0)$$

FORMULAIRES DES ROTATIONS POUR LES CAS DE CHARGES USUELS



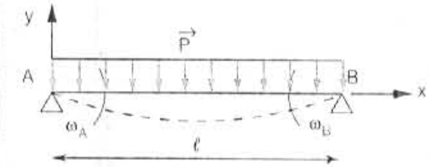
$\omega_A = -\dfrac{P\ell^2}{16\,EI}$

$\omega_B = \dfrac{P\ell^2}{16\,EI}$



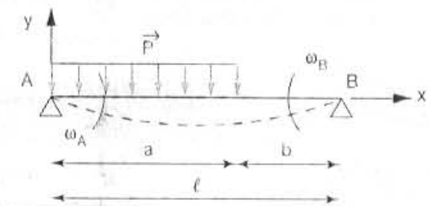
$\omega_A = -\dfrac{Pab\,(\ell + b)}{6\,EI\ell} = -\dfrac{Pab\,(\ell - a)\,(2\ell - a)}{6\,EI\ell}$

$\omega_B = \dfrac{Pab\,(\ell + a)}{6\,EI\ell} = \dfrac{Pa\,(\ell^2 - a^2)}{6\,EI\ell}$



$\omega_A = -\dfrac{P\ell^3}{24\,EI}$

$\omega_B = +\dfrac{P\ell^3}{24\,EI}$



$\omega_A = -\dfrac{Pa^2\,(2\ell - a)^2}{24\,EI\ell}$

$\omega_B = +\dfrac{Pa^2\,(2\ell^2 - a^2)}{24\,EI\ell}$

MÉTHODES ÉNERGÉTIQUES : THÉORÈME DE MENABREA

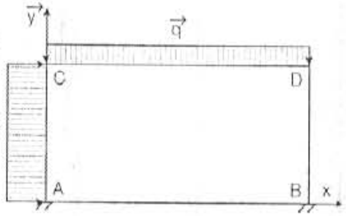
■ PRINCIPE

Le théorème de Menabrea est une application du théorème de Castigliano au calcul des actions hyperstatiques X_i : le déplacement (ou la rotation) d'une structure au droit d'une liaison est nul (car par définition la liaison l'empêche), ce qui donne une équation :

$$0 = \frac{dW}{dX_i} \qquad X_i \text{ pouvant être une force ou un couple de liaison}$$

■ APPLICATION

3 équations, 6 inconnues → degré d'hyperstaticité = 3



On choisit X_B, Y_B et U_B comme inconnues hyperstatiques ; Menabrea traduira que les mouvements respectifs u_B, v_B et Θ_B au droit de ces actions de liaison sont nuls.

Si on néglige les effets de N(x) et de V(x) devant ceux de M(x), on obtient le système :

$$\begin{cases} u_B = 0 = \dfrac{dW}{dW_B} = \dfrac{d}{dX_B}\left(\dfrac{1}{2}\displaystyle\int_{(s)} \dfrac{M^2}{EI} ds\right) = \dfrac{1}{2}\displaystyle\int_{(s)} \dfrac{dM^2}{dX_B}\dfrac{ds}{EI} = \displaystyle\int_{(s)} \dfrac{M}{EI}\dfrac{dM}{dX_B} ds \\ v_B = 0 = \dfrac{dW}{dY_B} = \dfrac{d}{dY_B}\left(\dfrac{1}{2}\displaystyle\int_{(s)} \dfrac{M^2}{EI} ds\right) = \dfrac{1}{2}\displaystyle\int_{(s)} \dfrac{dM^2}{dY_B}\dfrac{ds}{EI} = \displaystyle\int_{(s)} \dfrac{M}{EI}\dfrac{dM}{dY_B} ds \\ \Theta_B = 0 = \dfrac{dW}{dU_B} = \dfrac{d}{dU_B}\left(\dfrac{1}{2}\displaystyle\int_{(s)} \dfrac{M^2}{EI} ds\right) = \dfrac{1}{2}\displaystyle\int_{(s)} \dfrac{dM^2}{dU_B}\dfrac{ds}{EI} = \displaystyle\int_{(s)} \dfrac{M}{EI}\dfrac{dM}{dU_B} ds \end{cases}$$

Soit de façon générale :

$$0 = \frac{dW}{dX_i} = \int_{(s)} \frac{M}{EI}\frac{dM}{dX_i} ds$$

■ PRÉSENTATION DES CALCULS

(calculs sur les tronçons dans des repères locaux aux barres).

Tronçons / Équations	AC	CD	DB
Moment fléchissant			
$\frac{dM}{dX_B}$			
$\frac{dM}{dY_B}$			
$\frac{dM}{dU_B}$			

• **Remarque**

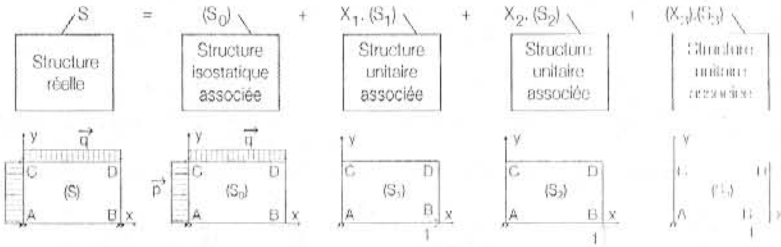
Pour une structure hyperstatique d'ordre 2 (articulation en B), on obtiendrait un système de deux équations (u_B et v_B nuls par exemple) à deux inconnues (respectivement X_B et Y_B par exemple).

Pour une structure hyperstatique d'ordre 1 (appui simple en B selon y), on obtiendrait un système d'une équation (v_B nul par exemple) à une inconnue (respectivement Y_B par exemple).

MÉTHODES ÉNERGÉTIQUES : THÉORÈME DE FONT VIOLANT (MÉTHODE DES FORCES)

■ PRINCIPE

Cette méthode consiste en l'utilisation du principe de superposition ; il s'agit de décomposer une structure hyperstatique en plusieurs structures isostatiques simples associées ou apparaîtront astucieusement les inconnues hyperstatiques. Ainsi :



Soit l'expression des sollicitations en fonction des inconnues hyperstatiques :

$$\begin{aligned} (N) &= (N_0) + X_1.(N_1) + X_2.(N_2) + X_3.(N_3) \\ (V) &= (V_0) + X_1.(V_1) + X_2.(V_2) + X_3.(V_3) \\ (M) &= (M_0) + X_1.(M_1) + X_2.(M_2) + X_3.(M_3) \end{aligned}$$

■ APPLICATION

Si on applique Menabrea en négligeant N et V :

$$u_B = 0 = \int_{(s)} \frac{M}{EI}\frac{dM}{dX_1} ds = \int_{(s)} \frac{M_0M_1}{EI} ds + X_1.\int_{(s)} \frac{M_1^2}{EI} ds + X_2.\int_{(s)} \frac{M_2M_1}{EI} ds + X_3.\int_{(s)} \frac{M_3M_1}{EI} ds$$

$$V_B = 0 = \int_{(s)} \frac{M}{EI}\frac{dM}{dX_2} ds = \int_{(s)} \frac{M_0M_2}{EI} ds + X_1.\int_{(s)} \frac{M_1M_2}{EI} ds + X_2.\int_{(s)} \frac{M_2^2}{EI} ds + X_3.\int_{(s)} \frac{M_3M_2}{EI} ds$$

$$\Theta_B = 0 = \int_{(s)} \frac{M}{EI}\frac{dM}{dX_3} ds = \int_{(s)} \frac{M_0M_3}{EI} ds + X_1.\int_{(s)} \frac{M_1M_3}{EI} ds + X_2.\int_{(s)} \frac{M_2M_3}{EI} ds + X_3.\int_{(s)} \frac{M_3^2}{EI} ds$$

soit avec une notation simplifiée :

$$\begin{aligned} u_B &= 0 = \Delta_{01} + X_1.\partial_{11} + X_2.\partial_{21} + X_3.\partial_{31} \\ v_B &= 0 = \Delta_{02} + X_1.\partial_{12} + X_2.\partial_{22} + X_3.\partial_{32} \\ \Theta_B &= 0 = \Delta_{03} + X_1.\partial_{13} + X_2.\partial_{23} + X_3.\partial_{33} \end{aligned}$$

On résout alors ce système de Kramer.

• **Remarque 1**

Pour une structure hyperstatique d'ordre 2 (articulation en B), on obtiendrait un système de deux équations (u_B et v_B nuls par exemple) à deux inconnues (respectivement X_1 et X_2 par exemple).

Pour une structure hyperstatique d'ordre 1 (appui simple en B selon y), on obtiendrait un système d'une équation (v_B nul par exemple) à une inconnue (respectivement X_2 par exemple).

• **Remarque 2**

Les intégrales

$$\int_{(s)} \frac{M_0M_1}{EI} ds \quad \text{et} \quad \int_{(s)} \frac{M_iM_j}{EI} ds$$

sont appelées intégrales de Mohr et correspondent à des pseudodéplacements.

On peut les calculer ou les obtenir grâce au tableau page suivante :

qui donne $\int_{(s)} M_iM_j\, ds$,

il faut ensuite multiplier ces résultats par 1/E I

MÉTHODES ÉNERGÉTIQUES : THÉORÈME DE FONT VIOLANT (suite)

$f(x)$ \ $\varphi(x)$	φ + ℓ	+ φ ℓ	φ_ℓ + φ_r ℓ	φ + a b	φ + ℓ	φ + ℓ	+ φ ℓ	φ + ℓ	+ φ ℓ
f + ℓ	$\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{2}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{2}\ell.f(\varphi_\ell+\varphi_r)$	$\frac{1}{2}\ell.f.\varphi$	$\frac{2}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{2}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{2}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi$
+ f ℓ	$\frac{1}{2}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{6}\ell.f(\varphi_\ell+2\varphi_r)$	$\frac{1}{6}\ell.f.\varphi(1+\alpha)$	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{4}\ell.f.\varphi$	$\frac{5}{12}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{12}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{4}\ell.f.\varphi$
f + ℓ	$\frac{1}{2}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{6}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{6}\ell.f(2\varphi_\ell+\varphi_r)$	$\frac{1}{6}\ell.f.\varphi(1+\beta)$	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{5}{12}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{4}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{4}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{12}\ell.f.\varphi$
f_ℓ + f_r ℓ	$\frac{1}{2}\ell(f_r+f_\ell)\varphi$	$\frac{1}{6}\ell(f_r+2f_\ell)\varphi$	$\frac{1}{6}[2f_\ell\varphi_\ell + f_\ell\varphi_r + f_r\varphi_\ell + 2f_r\varphi_r]$	$\frac{1}{6}\ell[f_\ell(1+\beta) + f_r(1+\alpha)]\varphi$	$\frac{1}{3}\ell(f_r+f_\ell)\varphi$	$\frac{1}{12}\ell.(5f_\ell+3f_r)\varphi$	$\frac{1}{12}\ell.(3f_\ell+5f_r)\varphi$	$\frac{1}{12}\ell.(3f_\ell+f_r)\varphi$	$\frac{1}{12}\ell.(f_\ell+3f_r)\varphi$
f + a b	$\frac{1}{2}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{6}\ell.f\varphi(1+\alpha)$	$\frac{1}{6}\ell[\varphi_\ell(1+\beta) + \varphi_r(1+\alpha)]f$	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi(1+\alpha\beta)$	$\frac{1}{12}\ell.f.\varphi.(5-\alpha-\alpha^2)$	$\frac{1}{12}\ell.f.\varphi.(5-\beta-\beta^2)$	$\frac{1}{12}\ell.f.\varphi.(1+\beta+\beta^2)$	$\frac{1}{12}\ell.f.\varphi.(1+\alpha+\alpha^2)$
f + ℓ	$\frac{2}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{3}\ell.f(\varphi_\ell+\varphi_r)$	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi(1+\alpha\beta)$	$\frac{8}{15}\ell.f.\varphi$	$\frac{7}{15}\ell.f.\varphi$	$\frac{7}{15}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{5}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{5}\ell.f.\varphi$
f + ℓ	$\frac{2}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{4}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{12}\ell.f.(5\varphi_\ell+3\varphi_r)$	$\frac{1}{12}\ell.f.\varphi.(5-\alpha-\alpha^2)$	$\frac{7}{15}\ell.f.\varphi$	$\frac{8}{15}\ell.f.\varphi$	$\frac{11}{30}\ell.f.\varphi$	$\frac{3}{10}\ell.f.\varphi$	$\frac{2}{15}\ell.f.\varphi$
f + ℓ	$\frac{1}{3}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{12}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{12}\ell.f.(3\varphi_\ell+\varphi_r)$	$\frac{1}{12}\ell.f.\varphi.(1+\beta+\beta^2)$	$\frac{1}{5}\ell.f.\varphi$	$\frac{3}{10}\ell.f.\varphi$	$\frac{2}{15}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{5}\ell.f.\varphi$	$\frac{1}{30}\ell.f.\varphi$

Attention : Ne pas oublier de multiplier les valeurs obtenues par 1/E I avec $\alpha = \frac{a}{\ell}$ et $\beta = \frac{b}{\ell}$

30 THERMIQUE

Pour garder une température constante dans les locaux en hiver, il est nécessaire d'introduire un moyen de production d'énergie. Pour déterminer sa puissance il faut calculer les déperditions.

30.1 CALCUL DES DÉPERDITIONS (RÈGLES TH)

DÉPERDITIONS PAR LES PAROIS

$$D_p = K_g \cdot S \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$K_g = \frac{1}{R_g}$$

- D_p : déperditions par les parois en watts (W)
- K_g : conductance globale de la paroi en watts par mètre carré et par degré Celsius (W/m².°C). K_g est aussi appellé coefficient de transmission surfacique : c'est le flux de chaleur passant dans une paroi pour une différence de température de 1° C entre les deux ambiances séparées par cette paroi.
- S : surface de la paroi en mètres carrés (m²)
- θ : température de l'air intérieur (θ_i) et de l'air extérieur (θ_e) en degrés Celsius (°C)
- R_g : résistance thermique globale de la paroi en m².°C/W

$$R_g = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}$$

- $\frac{1}{h}$: résistance thermique d'échanges superficiels intérieurs ($1/h_i$) et extérieurs ($1/h_e$) en m².°C/W (voir tableau correspondant).
- $\sum \frac{e}{\lambda}$: somme des rapports e/λ des différentes couches de la paroi.
- e : épaisseur du matériau en mètre (m)
- λ : conductivité thermique du matériau en watts par mètre et par degré Celsius (W/m.°C) (voir tableau correspont pour les valeurs des matériaux du bâtiment).

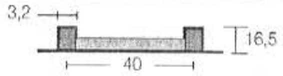
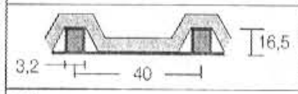
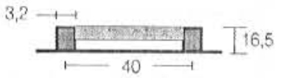
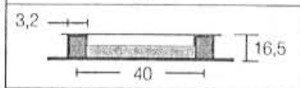
■ RÉSISTANCES THERMIQUES D'ÉCHANGES SUPERFICIELS (R en m².°C/W)

Position de la paroi	Angle formé avec le plan horizontal	Sens du flux	Paroi en contact avec - l'extérieur - un passage couvert - un local ouvert			Paroi en contact avec - un local chauffé ou non - un comble - un vide sanitaire		
			$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Verticale	> 60°	→	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Horizontale	< 60°	↑	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
		↓	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

DÉPERDITIONS PAR LES PAROIS (suite)

■ RÉSISTANCES THERMIQUES DES ÉLÉMENTS COURANTS DE CONSTRUCTION (R en m^2.°C/W)

• Matelas isolants de laine minérale ou de varech sur ossature bois

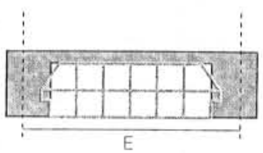
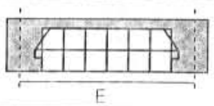
Disposition du matelas isolant sur l'ossature bois (en cm)	Épaisseur nominale du matelas en mm					
	Laines minérales					Varech
	30/35	40/45	50/55	60/65	70/75	20/30
	0,70	0,91	1,12	1,33	1,55	0,50
	0,80	1,04	1,29	1,54	1,78	0,56
	098	1,21	1,45	1,67	1,88	0,74
	098	1,21	1,45	1,67	1,88	0,74

• Lames d'air non ventilées (lame d'air continue)

Position de la lame d'air	Sens du flux	Épaisseur de la lame d'air en mm						
		5 à 7	7,1 à 9	9,1 à 11	11,1 à 13	14 à 24	25 à 50	55 à 300
Horizontale (angle < 60°)	Ascendant	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
Verticale		0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16
Horizontale (angle < 60°)	Descendant	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,20

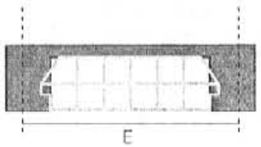
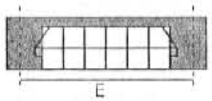
• Planchers avec entrevous

Planchers sans dalle de compression ou avec dalle en béton de granulats lourds

Schéma	Types des entrevous	Entraxe des poutrelles	Hauteur des entrevous en cm					
		E en cm	8	12	16	20	25	30
	Entrevous terre cuite	E ≤ 47	0,08	0,11				
		47 < E ≤ 67	0,11	0,14				
		E > 67	0,12	0,16				
		E ≤ 47		0,13	0,17	0,21	0,25	
		47 < E ≤ 67		0,19	0,23	0,26	0,31	
		E > 67		0,23	0,27	0,30	0,34	
		E ≤ 47			0,18	0,22	0,27	0,32
		47 < E ≤ 67			0,26	0,30	0,35	0,40
		E > 67			0,32	0,36	0,41	0,46
	Entrevous béton granulats lourds	E ≤ 67		0,11	0,13	0,15	0,18	0,21
		E > 67		0,12	0,14	0,16	0,19	0,21
		E ≤ 67				0,22	0,25	0,28
		E > 67				0,23	0,27	0,31

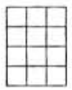
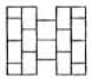
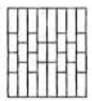
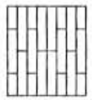
DÉPERDITIONS PAR LES PAROIS (suite)

Planchers avec dalle de compression en béton d'argile ou de schiste expansé

Schéma	Types des entrevous	Entraxe des poutrelles	Hauteur des entrevous en cm					
		E en cm	8	12	16	20	25	30
	Entrevous terre cuite	E ≤ 47	0,14	0,19				
		47 < E ≤ 67	0,17	0,21				
		E > 67	0,19	0,22				
		E ≤ 47		0,21	0,26	0,31	0,36	
		47 < E ≤ 67		0,26	0,31	0,36	0,41	
		E > 67		0,3	0,34	0,80	0,43	
		E ≤ 47			0,27	0,33	0,39	0,45
		47 < E ≤ 67			0,37	0,40	0,47	0,52
		E > 67			0,40	0,45	0,51	0,55
	Entrevous béton granulats lourds	E ≤ 67		0,18	0,21	0,24	0,27	0,30
		E > 67		0,19	0,22	0,25	0,27	0,30
		E ≤ 67				0,29	0,33	0,37
		E > 67				0,31	0,34	0,38

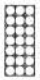
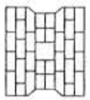
Nota : Pour les planchers avec entrevous isolés, se reporter aux avis techniques propres à chaque plancher.

• Briques et blocs de terre cuite

Schémas	Type de l'élément	Dimensions (cm)		Nombre d'alvéoles	Ru m^2 °C/W
		E	H × L		
	Briques creuses	3,5	20 à 30 × 40 à 60	1	0,06
		5	20 à 30 × 40 à 60	1	0,10
		7,5	20 à 30 × 40 à 60	2	0,16
		10	20 à 30 × 40 à 60	2	0,20
		12,5	20 à 30 × 40 à 60	3	0,27
		15	20 à 30 × 40 à 60	3	0,30
		17,5	20 à 30 × 40 à 60	3	0,33
		20	20 à 25 × 40 à 50	4	0,39
		22,5	20 à 25 × 40 à 50	4	0,42
		25	20 à 25 × 40 à 50	4	0,45
		27,5	20 à 25 × 40 à 50	6	0,55
		30	20 à 25 × 40 à 50	6	0,59
	Briques à rupture de joint	22,5	20 à 25 × 40 à 50	2 + 1 + 2	0,47
		25	20 à 25 × 40 à 50	2 + 1 + 2	0,51
		27,5	20 à 25 × 40 à 50	3 + 1 + 3	0,61
		30	20 à 25 × 40 à 50	3 + 1 + 3	0,64
	Briques à quinconnage 4 – 3	20	20 × 50	8	0,56
		22,5	20 × 50	10	0,64
		25	20 × 50	10	0,67
		27,5	20 × 50	12	0,76
		30	20 × 40	14	0,82
		32,5	20 × 40	15	0,88
		35	20 × 40	15	0,94
	Briques à quinconnage 3 - 2	20	20 × 50	8	0,63
		22,5	20 × 50	10	0,72
		25	20 × 50	10	0,77
		27,5	20 × 50	12	0,87
		30	20 × 40	14	0,94
		32,5	20 × 40	15	1,01
		35	20 × 40	15	1,06

DÉPERDITIONS PAR LES PAROIS (suite)

• Briques et blocs de terre cuite (suite)

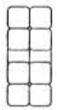
Schémas	Type de l'élément	Dimensions (cm) E	Dimensions (cm) H × L	Nombre d'alvéoles	Ru m² °C/W
	Briques perforées	10,5	5 à 20 × 22 à 30		0,13
		12	5 à 20 × 22 à 30		0,15
		22	5 à 20 × 22 à 30		0,28
		25	5 à 20 × 22 à 30		0,32
		33,5	5 à 20 × 22 à 30		0,42
		38	5 à 20 × 22 à 30		0,48
	Briques pleines	5,5	6 × 22		0,05
		10,5	6 × 22		0,09
		21,5	6 × 22		0,20
		33	6 × 22		0,30
		44,5	6 × 22		0,40
	Blocs perforés de terre cuite	20	15 à 25 ×25 à 30	8	0,49
		20	15 à 25 × 25 à 30	10	0,52
		22,5	15 à 25 × 25 à 30	8	0,53
		22,5	15 à 25 ×25 à 30	10	0,56
		25	15 à 25 × 25 à 30	10	0,62
		25	15 à 25 ×25 à 30	13	0,66
		27,5	15 à 25 × 25 à 30	10	0,67
		27,5	15 à 25 × 25 à 30	13	0,71
		30	15 à 25 × 25 à 30	13	0,76
		30	15 à 25 × 25 à 30	15	0,78

• Blocs de béton

Schémas	Type de l'élément	Dimensions (cm) E	Dimensions (cm) H × L	Nombre d'alvéoles	Ru m² °C/W
–	Blocs pleins béton cellulaire à coller mv = 400 kg/m³	15			0,83
		17,5			0,97
		20			1,11
		22,5			1,25
		25			1,40
		27,5			1,53
		30			1,65
–	Blocs pleins béton cellulaire à maçonner mv = 500 kg/m³	15			0,69
		17,5			0,81
		20			0,93
		22,5			1,04
		25			1,16
		27,5			1,27
		30			1,39
–	Blocs pleins béton argilé expansée	20	1 200 à 1 400		0,27
		25	1 200 à 1 400		0,35
		20	1 000 à 1 200		0,39
		25	1 000 à 1 200		0,49
		20	700 à 1 000		0,49
		25	700 à 1 000		0,65

DÉPERDITIONS PAR LES PAROIS (suite)

• Blocs de béton (suite)

Schémas	Type de l'élément	Dimensions (cm) E	Dimensions (cm) H × L	Nombre d'alvéoles	Ru m² °C/W
	Blocs creux béton gravillon parois épaisses	7,5	20 × 40	1	0,07
		10	20 × 40	1	0,09
		12,5	20 × 40	1	0,10
		15	20 × 40	1	0,12
		17,5	20 × 40	1	0,14
		20	20 × 40	2	0,19
		22,5	20 × 40	2	0,21
		25	20 × 40	3	0,26
		27,5	20 × 40	3	0,28
		30	20 × 40	4	0,34
		32,5	20 × 40	5	0,40
	Blocs creux béton gravillon parois minces	5	20 × 40 ou 50	1	0,08
		7,5	20 × 40 ou 50	1	0,09
		10	20 × 40 ou 50	1	0,11
		12,5	20 × 40 ou 50	1	0,13
		15	20 × 40 ou 50	1	0,15
		17,5	20 × 40 ou 50	2	0,21
		20	20 × 40 ou 50	2	0,22
		22,5	20 × 40 ou 50	3	0,28
		25	20 × 40 ou 50	4	0,34
		27,5	20 × 40 ou 50	4	0,37
		30	20 × 40 ou 50	5	0,42
		32,5	20 × 40 ou 50	6	0,45
	Blocs creux béton de laitier ou pouzzolane parois épaisses	7,5	20 × 40	1	0,13
		10	20 × 40	1	0,16
		12,5	20 × 40	1	0,19
		15	20 × 40	1	0,22
		17,5	20 × 40	1	0,25
		20	20 × 40	2	0,32
		22,5	20 × 40	2	0,34
		25	20 × 40	3	0,42
		27,5	20 × 40	3	0,45
		30	20 × 40	4	0,53
		32,5	20 × 40	5	0,62
	Blocs creux parois épaisses plein béton argile expansée H = 20	20	1 200 à 1 400		0,34
		22,5	1 200 à 1 400		0,35
		25	1 200 à 1 400		0,45
		30	1 200 à 1 400		0,50
		20	1 000 à 1 200		0,39
		22,5	1 000 à 1 200		0,40
		25	1 000 à 1 200		0,51
		30	1 000 à 1 200		0,57
		20	700 à 1 000		0,45
		22,5	700 à 1 000		0,47
		25	700 à 1 000		0,58
		30	700 à 1 000		0,65

CONDUCTIVITÉ THERMIQUE LAMBDA (λ) DES MATÉRIAUX DU BÂTIMENT

Pierres et terres	kg/m³	W/m° C
granite	2 500 à 3 000	3,500
gneiss	2 400 à 2 700	3,500
basaltes	2 800 à 3 000	3,500
silex	2 600 à 2 800	3,500
porphyres	2 400 à 2 600	2,900
laves	2 100 à 2 400	2,900
ardoise	≥ à 2 700	2,100
pierre calcaire froide	≥ à 2 590	2,900
pierre calcaire dure	2 350 à 2 580	2,200
pierre calcaire ferme	2 160 à 2 340	1,700
pierre calcaire demi-ferme	1 840 à 2 150	1,400
pierre calcaire tendre	1 650 à 1 840	1,050
pierre calcaire très tendre	1 470 à 1 640	0,950
grès quartzeux		2,600
grès calcarifères		1,900
meulière lourde		1,800
meulière légère		0,900
blocs de terre comprimée	1 700 à 1 900	1,050
terre cuite	1 800 à 2 000	1,150

Béton	kg/m³	W/m° C
plein de granulats lourds	2 200 à 2 400	1,750
caverneux de granulats lourds	1 700 à 2 100	1,400
plein lourds de laitier	2 200 à 2 400	1,400
caverneux lourds de laitier	1 600 à 2 100	0,700
léger de pouzzolane ou de laitier	1 400 à 1 600	0,520
léger de pouzzolane ou de laitier	1 200 à 1 400	0,440
de ponces naturelles	950 à 1 150	0,460
d'argile expansé	1 600 à 1 800	1,050
d'argile expansé	1 400 à 1 600	0,850
de perlite ou de vermiculite	600 à 800	0,310
de perlite ou de vermiculite	400 à 600	0,240
de perlite ou de vermiculite	400 à 450	0,190
cellulaire autoclavé	775 à 825	0,330
cellulaire autoclavé	725 à 775	0,290
cellulaire autoclavé	675 à 725	0,270
cellulaire autoclavé	625 à 675	0,240
cellulaire autoclavé	575 à 625	0,220
cellulaire autoclavé	525 à 575	0,200
cellulaire autoclavé	475 à 525	0,180
cellulaire autoclavé	425 à 475	0,170
cellulaire autoclavé	375 à 425	0,160
fibre de bois	450 à 650	0,160
fibre de bois (fibragglos)	450 à 550	0,150
fibre de bois (fibragglos)	350 à 450	0,120
fibre de bois (fibragglos)	250 à 350	0,100
mortier d'enduits et de joints	1 800 à 2 100	1,150

Plâtres	kg/m³	W/m° C
courant pour enduit ou plaque	750 à 1 000	0,350
sans granulats « gâché serré »	1 100 à 1 300	0,500
léger avec perlite ou vermiculite	700 à 900	0,300
léger avec perlite ou vermiculite	500 à 700	0,250

Synthétiques	kg/m³	W/m° C
caoutchouc synthétique	1 300 à 1 500	0,400
polyamides (nylon, rilsan,...)	1 000 à 1 150	0,400
polyesters	1 400 à 1 700	0,400
polyéthylènes	900 à 1 000	0,400
altuglas, plexiglas	1 200 à 1 300	0,200
polychlorures de vinyle	1 300 à 1 400	0,200
asphalte pur	2 100	0,700
asphalte sablé		1,150
bitume (feutre et carton bitumé)	1 000 à 1 100	à 0,230

Isolants	kg/m³	W/m° C
laine de roche	18 à 25	0,047
laine de roche	25 à 35	0,041
laine de roche	35 à 80	0,038
laine de roche	60 à 100	0,039
laine de roche	100 à 180	0,041
laine de verre VA	7 à 9,5	0,047
laine de verre VA	9,5 à 12	0,042
laine de verre VA	12,5 à 18	0,039
laine de verre VA	18 à 25	0,037
laine de verre VA	25 à 65	0,034
laine de verre VB	7 à 9,5	0,051
laine de verre VB	9,5 à 12	0,045
laine de verre VB	12,5 à 18	0,041
laine de verre VB	18 à 25	0,038
laine de verre VB	25 à 65	0,035
laine de verre VC	7 à 9,5	0,056
laine de verre VC	9,5 à 12	0,049
laine de verre VC	12,5 à 18	0,044
laine de verre VC	18 à 25	0,040
laine de verre VC	25 à 130	0,036
laine de verre VD	9,5 à 12	0,054
laine de verre VD	12,5 à 18	0,048
laine de verre VD	18 à 25	0,043
laine de verre VE	55 à 80	0,037
laine de verre VE	80 à 130	0,039
laine minérale quelconque		0,065
polystyrène expansé AM	7 à 9	0,058
polystyrène expansé BM	10 à 12	0,047
polystyrène expansé CM	13 à 14	0,043
polystyrène expansé DM	15 à 18	0,041
polystyrène expansé EM	19 à 23	0,039
polystyrène expansé FM	24 à 28	0,037
polystyrène expansé GM	≥ à 29	0,036
polystyrène expansé BC	10 à 12	0,047
polystyrène expansé CC	13 à 14	0,043
polystyrène expansé DC	15 à 19	0,041
polystyrène expansé EC	20 à 24	0,039
polystyrène expansé FC	25 à 29	0,037
polystyrène expansé GC	≥ à 30	0,036
polystyrène extrudé	28 à 32	0,035
polystyrène extrudé	29 à 40	0,033
mousse de polyuréthane AD	30 à 34	0,030
mousse de polyuréthane BD	35 à 39	0,030
mousse de polyuréthane CD	40 à 49	0,035
mousse de polyuréthane DD	50 à 59	0,035
mousse de polyuréthane ED	60 à 69	0,040
mousse de polyuréthane FD	70 à 99	0,045
mousse de polyuréthane AC	29 à 30	0,030
mousse de polyuréthane BC	31 à 32	0,030
mousse de polyuréthane CC	33 à 36	0,030
mousse de polyuréthane DC	37 à 45	0,035
mousse de polyuréthane EC	46 à 55	0,035
mousse de polyuréthane FC	56 à 65	0,035
mousse de polyuréthane GC	66 à 74	0,040
mousse de polyuréthane HC	75 à 99	0,045
mousse de polyuréthane	27 à 35	0,030
mousse rigide PVC Q2	25 à 34	0,031
mousse rigide PVC Q3	35 à 48	0,034
autres matières plastiques		
alvéolaires	10 à 60	0,046
liège expansé	150 à 250	0,048
liège expansé	100 à 149	0,043
liège comprimé	500	0,100

CONDUCTIVITÉ THERMIQUE LAMBDA (λ) DES MATÉRIAUX DU BÂTIMENT (suite)

Bois et végétaux	kg/m³	W/m° C
feuillus mi-lourds (chêne, hêtre, frêne)	600 à 750	0,230
feuillus légers (peuplier, érable)	450 à 600	0,150
résineux mi-lourds (pin)	450 à 550	0,150
résineux légers (sapin)	300 à 450	0,120
panneau fibre de bois « dur »	850 à 1 000	0,200
panneau particules pressés à plat	650 à 750	0,170
panneau particules pressés à plat	550 à 640	0,140
panneau particules pressés à plat	450 à 540	0,120
panneau particules pressés à plat	360 à 440	0,100
panneau extrudé	550 à 650	0,160
panneau fibres de lin	500 à 600	0,120
panneau fibres de lin	410 à 500	0,100
panneau fibres de lin	320 à 410	0,085
panneau fibres de lin	230 à 320	0,073
contreplaqué et latté « pin »	450 à 550	0,150
contreplaqué et latté « peuplier »	350 à 450	0,120
contreplaqué et latté « okoumé »	350 à 450	0,120
panneau de paille comprimée	300 à 400	0,120

Métaux et verre	kg/m³	W/m° C
fer pur	7 870	72,000
acier	7 780	52,000
fonte	7 500	56,000
aluminium	2 700	230,000
duralumin	2 800	160,000
cuivre	8 930	380,000
laiton	8 400	110,000
zinc	7 130	112,000
plomb	11 340	35,000
verre	2 700	1,150

COEFFICIENTS DE TRANSMISSION SURFACIQUE K (en W/m².°C)

■ FENÊTRE ET PORTE-FENÊTRE EN MÉTAL

Type de fenêtres	Type de vitrage et épaisseur nominale de la lame d'air en vitrage double (mm)		K de la paroi vitrée nue (Kn)	K moyen jour-nuit (Kjn)		
				sans fermeture	avec fermeture de perméabilité forte	avec fermeture de perméabilité moyenne
Fenêtres battantes	Vitrage simple		6,15	4,95	4,55	4,00
	Vitrage double	6	4,55	3,85	3,60	3,20
		8	4,45	3,80	3,55	3,15
		10	4,35	3,75	3,50	3,10
		12	4,30	3,70	3,45	3,05
	Double-fenêtre		3,20	2,80	2,65	2,40
Portes-fenêtres battantes	Vitrage simple		6,25	5,00	4,60	4,05
	Vitrage double	6	4,55	3,85	3,55	3,20
		8	4,45	3,75	3,50	3,15
		10	4,35	3,70	3,45	3,10
		12	4,25	3,65	3,40	3,05
	Double-fenêtre		3,20	2,85	2,70	2,45
Fenêtres coulissantes	Vitrage simple		6,10	4,90	4,50	4,00
	Vitrage double	6	4,30	3,70	3,45	3,05
		8	4,20	3,60	3,35	3,00
		10	4,10	3,55	3,30	2,95
		12	4,05	3,50	3,25	2,90
	Double-fenêtre		3,15	2,80	2,65	2,40
Portes-fenêtres coulissantes	Vitrage simple		6,10	4,90	4,50	4,00
	Vitrage double	6	4,20	3,60	3,35	3,00
		8	4,10	3,50	3,25	2,95
		10	4,00	3,45	3,20	2,90
		12	3,90	3,40	3,15	2,85
	Double-fenêtre		3,15	2,80	2,65	2,40

COEFFICIENTS DE TRANSMISSION SURFACIQUE K (en W/m².°C) (suite)

FENÊTRE ET PORTE-FENÊTRE EN BOIS

Type de fenêtres	Type de vitrage et épaisseur nominale de la lame d'air en vitrage double (mm)		K de la paroi vitrée nue (Kn)	K moyen jour-nuit (Kjn)		
				sans fermeture	avec fermeture de perméabilité forte	avec fermeture de perméabilité moyenne
Fenêtres battantes	Vitrage simple		4,95	4,15	3,85	3,45
	Vitrage double	6 8 10 12	3,25 3,15 3,05 2,95	2,85 2,75 2,70 2,60	2,70 2,65 2,60 2,50	2,45 2,40 2,35 2,25
	Double-fenêtre		2,55	2,30	2,20	2,00
Portes-fenêtres battantes avec soubassement	Vitrage simple		4,75	4,00	3,70	3,30
	Vitrage double	6 8 10 12	3,15 3,05 3,00 2,85	2,85 2,75 2,70 2,60	2,65 2,60 2,55 2,45	2,40 2,35 2,30 2,20
	Double-fenêtre		2,45	2,25	2,10	1,95
Portes-fenêtres battantes sans ou coulissantes	Vitrage simple		5,05	4,25	3,90	3,50
	Vitrage double	6 8 10 12	3,25 3,15 3,05 2,95	2,90 2,80 2,75 2,65	2,75 2,65 2,60 2,50	2,45 2,40 2,35 2,25
	Double-fenêtre		2,60	2,35	2,25	2,05

PORTES

Nature de la menuiserie	Type de portes	Portes donnant sur	
		l'extérieur	un L.N.C.
Portas simples en bois	Portes opaques – pleines – pleines avec montants de 45 mm – alvéolées	 3,50 3,50 —	 3,00 — 2,20
	Portes équipées de vitrage simple – surface vitrage S < à 30 % – surface vitrage 30 % < S < 60 %	 4,00 4,50	 — —
Portes simples en métal	Portes équipées double vitrage 6 mm	3,30	—
	Portes opaques	5,80	4,50
	Portes équipées de vitrage simple	5,80	—
	Portes équipées de vitrage double à – surface vitrage S < à 30 % – surface vitrage 30 % < S < 70 %	 5,50 4,80	 — —
Portes en verre	Portes en vitrage simple S > 95 %	5,80	4,50

DÉPERDITIONS PAR LES LIAISONS

$$D_L = k \cdot l \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

D_L : déperditions par les liaisons en W
k : coefficient de liaison en W/m °C
l : longueur de la liaison en m
θ_i : température de l'air intérieur en °C
θ_e : température de l'air extérieur en °C

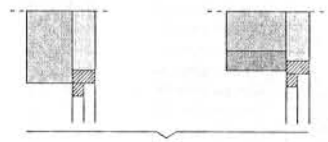
Il y a liaison chaque fois qu'il y a discontinuité dans l'isolation thermique.

Les principales liaisons donnant lieu à des déperditions sont :
- liaisons entre mur et maçonnerie,
- liaisons entre mur extérieur et paroi intérieure,
- angle de 2 parois,
- liaison avec un plancher enterré (terre plein) ou pas,
- liaison avec un mur enterré.

Pour calculer ces déperditions, il faut connaître exactement la réalisation de la liaison.
En avant-projet, on prend pour ces déperditions 10 % des déperditions surfaciques.

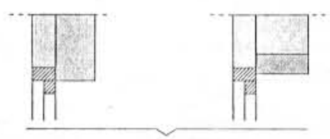
TRANSMISSION LINÉIQUE DANS LE CAS DES MENUISERIES

Isolation intérieure



La menuiserie est au même nu que l'isolation

Isolation extérieure



La menuiserie est au même nu que l'isolation

Liaison d'une menuiserie avec un plancher intérieur ou un refend.
Refend ou plancher en béton de e_1 cm

en coupe

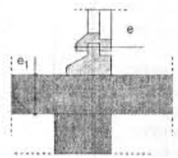
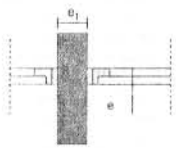


Tableau des valeurs de « k »

e \ e_1	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
3 à 5	0,23	0,28	0,34	0,40	0,46	0,51	0,57

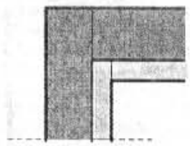
Exemple : e_1 = 20 cm ; e = 5 cm
Valeur de k = 0,46 W/m°C

en plan



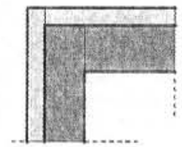
TRANSMISSION LINÉIQUE : LIAISON D'ANGLE DE 2 MURS

- **Liaison de 2 murs à isolation intérieure**



angle sortant
isolation continue
k = 0

- **Liaison de 2 murs à isolation extérieure**



angle sortant

Isolation continue

e \ k	0,40 à 0,60	0,65 à 0,85	0,90 à 1,10
20 à 24	0,07	0,10	0,14
25 à 30	0,08	0,12	0,17

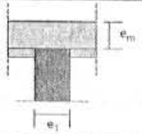
Si les 2 murs ne sont pas identiques, k et e sont les moyennes arithmétiques.

DÉPERDITIONS PAR LES LIAISONS (suite)

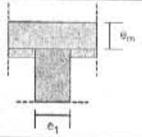
LIAISON D'UNE PAROI EXTÉRIEURE ET D'UN REFEND (coefficients linéiques k)

• **Mur en briques creuses**
Le mur passe devant le refend et est en briques creuses

	refend en béton de 1 cm	briques continues			
e_1 / e_m	10	12,5	15	17,5	20
20 à 25	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20



	refend en béton de 1 cm		briques continues			
e_1 / e_m	cloi-son	10	12,5	15	17,5	20
20 à 25	0,06	0,10	0,13	0,15	0,17	0,19



• **Mur en blocs creux de béton**
Le mur passe devant le refend et est en blocs creux de béton

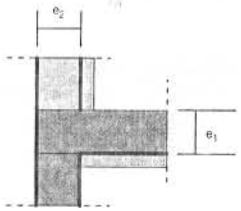
	refend en béton de 1 cm	blocs continus			
e_1 / e_m	10	12,5	15	17,5	20
20 à 25	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27

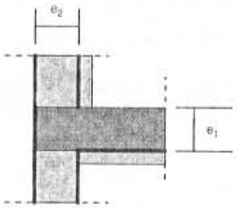
	refend en béton de 1 cm		blocs continus			
e_1 / e_m	cloi-son	10	12,5	15	17,5	20
20 à 25	0,09	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26

LIAISON D'UNE PAROI EXTÉRIEURE AVEC UN REFEND OU UN PLANCHER INTÉRIEUR

Le doublage est un complexe isolant

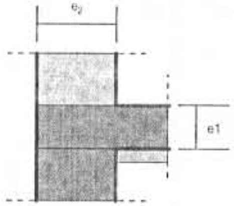
Chaînage sans correction

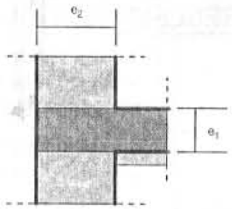




e_1 / e_2	15	17,5	20
20 à 25	0,18	0,20	0,22

Chaînage sans correction

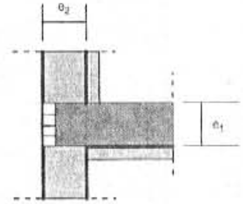




e_1 / e_2	15	17,5	20
20 à 24	0,19	0,22	0,25
25 à 29	0,18	0,21	0,24
30 à 34	0,17	0,20	0,22
35 à 40	0,16	0,19	0,21

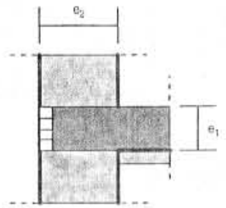
DÉPERDITIONS PAR LES LIAISONS (suite)

Chaînage avec brique



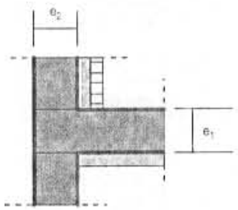
e_1 / e_2	15	17,5	20
20 à 25	0,15	0,17	0,19

Chaînage avec brique à une ou deux rangées



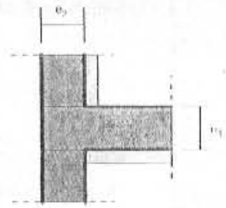
e_1 / e_2	15	17,5	20
20 à 24	0,16	0,18	0,21
25 à 29	0,15	0,17	0,20
30 à 34	0,14	0,16	0,19
35 à 39	0,14	0,16	0,18

Chaînage sans correction



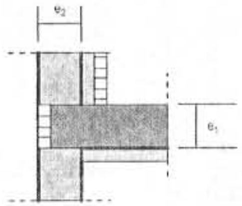
e_1 / e_2	15	17,5	20
15 à 19	0,24	0,26	0,28
20 à 25	0,22	0,25	0,27

Chaînage sans correction

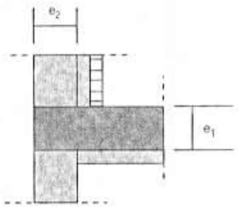


e_1 / e_2	15	17,5	20
15 à 19	0,21	0,24	0,27
20 à 25	0,20	0,22	0,25

Chaînage avec brique



e_1 / e_2	15	17,5	20
20 à 25	0,18	0,20	0,22

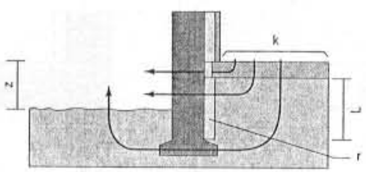


e_1 / e_2	15	17,5	20
20 à 25	0,19	0,22	0,24

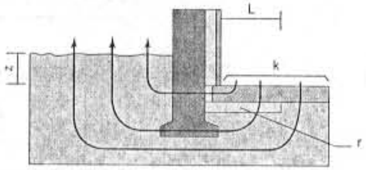
DÉPERDITIONS PAR LES LIAISONS (suite)

■ LIAISON AVEC UN MUR ENTERRÉ

- Isolation verticale

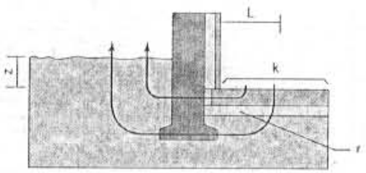


- Isolation horizontale



z en m	Largeur de l'isolation (L) en m	r en m² °C/W 0,60 à 0,75	0,60 à 0,75	0,60 à 0,75	0,60 à 0,75
isolation verticale et horizontale au pourtour					
de – 1,20 à – 0,75	0,25 à 1,00	0,90	0,90	0,90	0,90
de – 0,70 à – 0,45	0,25 à 1,00	1,10	1,10	1,05	1,05
de – 0,40 à – 0,25	0,45 à 1,00	1,20	1,15	1,15	1,10
de – 0,20 à + 0,20	0,45 à 1,00	1,45	1,40	1,35	1,30
de 0,25 à 0,40	0,50 à 0,65	1,65	1,60	1,55	1,50
	0,70 à 1,00	1,60	1,55	1,45	1,40
de 0,45 à 1,00	0,50 à 0,65	1,85	1,80	1,75	1,70
	0,70 à 1,00	1,80	1,70	1,65	1,55
de 1,05 à 1,50	0,70 à 1,00	2,00	1,95	1,85	1,80
	1,05 à 1,50	1,90	1,80	1,70	1,60

- Isolation sur toute la surface du dallage



z en m	Largeur de l'isolation (L) en m	r en m² °C/W 0,60 à 0,75	0,60 à 0,75	0,60 à 0,75	0,60 à 0,75
isolation horizontale sur toute la surface du plancher					
< – 6,00		0	0	0	0
de – 6,00 à – 4,05		0,15	0,15	0,15	0,15
de – 4,00 à – 2,55		0,35	0,35	0,35	0,30
de – 2,50 à – 1,85		0,50	0,50	0,45	0,45
de – 1,80 à – 1,25		0,65	0,60	0,60	0,55
de – 1,20 à – 0,75		0,80	0,75	0,70	0,65
de – 0,70 à – 0,45		0,95	0,90	0,80	0,75
de – 0,40 à – 0,25		1,05	1,00	0,90	0,80
de – 0,20 à + 0,25		1,25	1,15	1,05	0,95
de 0,25 à 0,40		1,45	1,30	1,20	1,05
de 0,45 à 1,00		1,55	1,45	1,30	1,15
de 1,05 à 1,50		1,70	1,55	1,40	1,25

r : résistance thermique de l'isolant.

DÉPERDITIONS PAR INFILTRATION

$$D_i = 0{,}34 \cdot q_{vi} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

- D_i : Déperdition par infiltration (en W)
- θ_i : Température de l'air intérieur (en °C)
- θ_e : Température de l'air extérieur (en °C)
- q_{vi} : Débit volumique d'infiltration (en m³/h)

Les principales causes d'infiltration sont :
- les fentes entre les ouvrants et les parties fixes
- la perméabilité des coffres de volets roulants.

Le calcul de ces différents débits dépend d'un grand nombre de facteurs (se référer aux règles TH).

DÉPERDITIONS PAR VENTILATION

$$D_v = 0{,}34 \cdot q_w \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

- D_v : Déperdition par ventilation (en W)
- θ_i : Température de l'air intérieur (en °C)
- θ_e : Température de l'air extérieur (en °C)
- q_w : Débit de ventilation (en m³/h)

Le débit de ventilation est dû :
- soit à la ventilation naturelle s'opérant par les orifices prévus à cet effet,
- soit à la ventilation mécanique contrôlée.

Débits extraits dans les pièces de service en m³/h selon le nombre de pièces principales du logement (n)

n	cuisine	salle de bain - 1	salle de bain - 2	WC - 1	WC - 2
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	30	15
> 5	135	30	15	30	15

30.2 RÉGLEMENTATION

OBJECTIFS ET OPTIONS

La réglementation a pour objectifs :
- la réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage,
- la mise à disposition des professionnels d'un langage commun.

La réglementation distingue 4 options :

- **option 1 : solutions techniques sans calculs applicables aux maisons individuelles et petits collectifs mise au point par le C.S.T.B.**

Elle propose différentes solutions en s'appuyant sur 5 paramètres :
- isolation ;
- menuiseries ;
- ventilation ;
- ensoleillement ;
- équipement de chauffage.

- **option 2 : coefficient Gv.**

On calcule les déperditions et on doit arriver à Gv ≤ Gv réf.

- **option 3 : coefficient Bv**

On calcule les déperditions et les apports solaires et on doit arriver à Bv ≤ Bv réf.

- **option 4 : coefficient C**

On calcule les déperditions et les apports thermiques globaux du bâtiment et on doit arriver à C < C réf.

31 MÉCANIQUE DES SOLS

31.1 HYDRAULIQUE DES SOLS

PRINCIPES DE BASE

Il faut :
- des sols saturés « pas trop fins », homogènes et isotropes,
- que l'eau interstitielle et les grains soient incompressibles,
- que l'écoulement soit permanent :
  - le régime non turbulent,
  - la charge « suffisante »,
- que le principe de Terzaghi (voir § 31.2) soit applicable : $\begin{cases} \sigma = \sigma' + u \\ \tau = \tau' \end{cases}$

CALCUL DE LA CHARGE HYDRAULIQUE

Dans un sol, la vitesse d'écoulement de l'eau restant faible (au plus quelques cm/s), le terme énergie cinétique dans l'expression de la charge hydraulique d'un fluide parfait en un point M donné par la formule de Bernouilli devient donc :

$$h = Z + \frac{u}{\gamma_w}$$

- h : charge hydraulique en mCE (mètres de colonne d'eau)
- Z : position de M par rapport à un plan de référence
- u : pression hydrostatique en M
- γ_w : poids volumique de l'eau

COEFFICIENT DE PERMÉABILITÉ k (en m/s)

■ QUELQUES VALEURS

La perméabilité d'un sol K dépend du milieu filtrant et s'exprime en darcy (1 darcy = 9,87 × 10^{-7} m²).
En hydraulique souterraine, pour plus de commodité, on utilise le coefficient de perméabilité **k** qui dépend de la porosité, du liquide, de l'interaction sol/eau, et s'exprime en m/s (dimension d'une vitesse de filtration).

k (m/s)		10^{-2}		10^{-4}		10^{-6}		10^{-8}		10^{-10}
sol			gravier		sable		limon		argile	

On propose différentes relations empiriques plus ou moins dépendantes des propriétés granulométriques et de porosité.

• **Formule de Hazen**

$$k = 100\,(d_{10})^2$$

pour les sols grenus à granulométrie serrée
d_{10} diamètre efficace de passant au tamis de diamètre 10

• **Formule de Casagrande**

$$k = 1{,}4 \cdot k_{0,85} \cdot e^2$$

$k_{0,85}$ coefficient de perméabilité lorsque e = 0,85
e indice des vides

• **Quelques valeurs de k**

Sol	k en m/s	Sol	k en m/s
Sable de Fontainebleau	2 × 10^{-5}	Vase de Martrou	4 × 10^{-9}
Argile verte	8 × 10^{-10}	Tourbe	2 × 10^{-8}
Limon d'Orly	5 × 10^{-8}		

■ PERMÉABILITÉS MOYENNES FICTIVES, VERTICALES ET HORIZONTALES DANS UN MILIEU STRATIFIÉ HORIZONTALEMENT
- Les terrains sont fréquemment stratifiés avec leurs perméabilités propres.
- La perméabilité n'est pas la même si l'écoulement est perpendiculaire ou s'il est parallèle à la stratification.

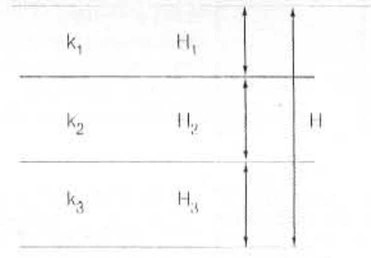
COEFFICIENT DE PERMÉABILITÉ k (en m/s) (suite)

• **Coefficient moyen de perméabilité horizontale**

$$k_h = \frac{\Sigma_i k_i \cdot H_i}{H}$$

• **Coefficient moyen de perméabilité verticale**

$$k_v = \frac{H}{\Sigma_i \dfrac{H_i}{k_i}}$$



CALCUL DU GRADIENT HYDRAULIQUE i

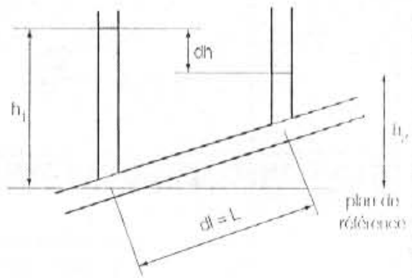
Il traduit la perte de charge hydraulique le long d'un tube de courant.

- Si l'écoulement est unidimensionnel :

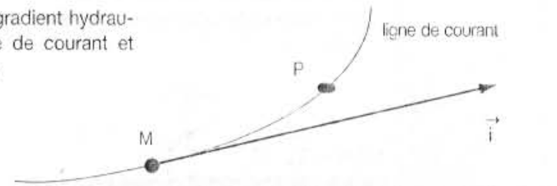
$$i = -\frac{dh}{dl} = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

- Dans le cas général :

$$\vec{i} = \text{grad}\,\vec{H}$$



- En tout point M, le vecteur gradient hydraulique est tangent à la ligne de courant et orienté dans le même sens :



CALCUL DE LA VITESSE D'ÉCOULEMENT V (en cm/s)

Loi de Darcy : la vitesse d'écoulement est proportionnelle au gradient hydraulique.

• Cas général

$$\vec{v} = \vec{k} \cdot \vec{i}$$

• Écoulement unidimensionnel

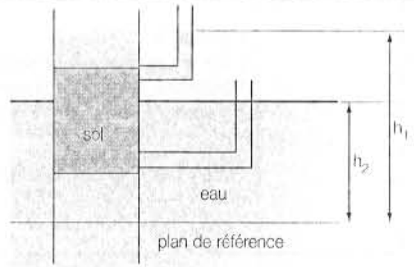
$$v = k \cdot i$$

CALCUL DU DÉBIT DE FILTRATION Q (en m³/s)

Le débit de filtration de l'eau est Q :

$$Q = V \cdot S = k\,i \cdot S = k \cdot S \cdot \frac{h_1 - h_2}{L}$$

- Q : en m³/s
- V : vitesse apparente
- S : section d'écoulement



PHÉNOMÈNE DE RENARD OU BOULANCE

■ CALCUL DU GRADIENT CRITIQUE

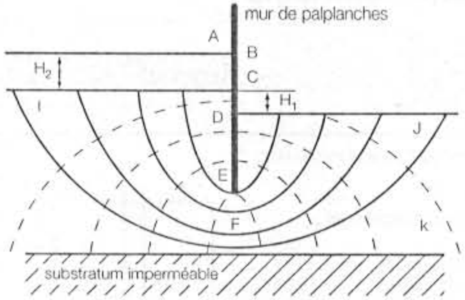
Les forces verticales ascendantes d'écoulement s'opposent aux forces de pesanteur. La résultante de ces forces est nulle pour une valeur du gradient critique i_c :

$$i_c = \frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma_w}$$

ÉTUDE DES RÉSEAUX D'ÉCOULEMENT (MÉTHODE GRAPHIQUE)

Dans le cas d'un écoulement plan entre des limites d'écoulement et de charge hydraulique déterminées, on peut exprimer une fonction de cette charge hydraulique par une méthode de résolution graphique. Les lignes de courant (trajectoire des filets d'eau) et les lignes équipotentielles (lignes d'égale charge) forment un réseau orthogonal :

- même débit entre 2 lignes de courant voisines,
- même différence de charge entre 2 lignes équipotentielles voisines.



$$Q = k \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{n_t}{n_e} \cdot \Delta H$$

- k coefficient de perméabilité
- n_t nombre d'intervalles entre lignes de courant
- n_e nombre d'intervalles entre lignes équipotentielles
- a distance entre 2 lignes de courant
- b distance entre 2 lignes équipotentielles

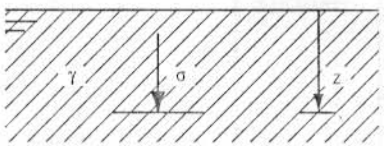
$\Delta H = ((H_1 + H_2) - 0) = H_1 + H_2$

31.2 CONSOLIDATION ET TASSEMENTS

CONTRAINTE VERTICALE DANS LES SOLS (en kPa)

• Cas n° 1

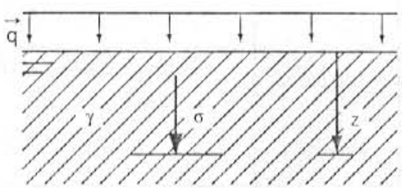
Dans le cas d'un massif homogène à surface horizontale, non surchargé, la contrainte verticale σ calculée à une profondeur z donnée correspond au poids des terres au-dessus du point de calcul.



$$\sigma = \gamma \cdot z$$

• Cas n° 2

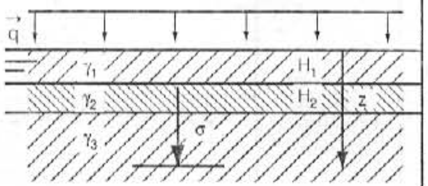
Dans le cas d'un massif homogène à surface horizontale, surchargé, la contrainte verticale σ calculée à une profondeur z donnée vaut :



$$\sigma = \gamma \cdot z + q$$

• Cas n° 3

Dans le cas d'un massif stratifié à surface horizontale, surchargé, la contrainte verticale σ calculée à une profondeur z donnée vaut :



$$\sigma = \gamma_1 \cdot H_1 + \gamma_2 \cdot H_2 + \gamma_3 \cdot (z - (H_1 + H_2)) + q$$

γ en kN/m³ z et H en m

PRINCIPE DE TERZAGHI

$$\begin{cases}\sigma = \sigma' + U \\ \tau = \tau'\end{cases} \xrightarrow{\text{d'où}} \begin{cases}\sigma' = \sigma - U \\ \tau' = \tau\end{cases}$$

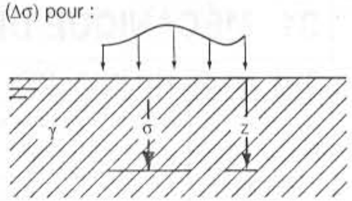
- σ et τ contraintes totales
- σ' et τ' contraintes effectives
- U pression interstitielle

ÉVALUATION DES ACCROISSEMENTS DE CONTRAINTES Δσ (kPa)

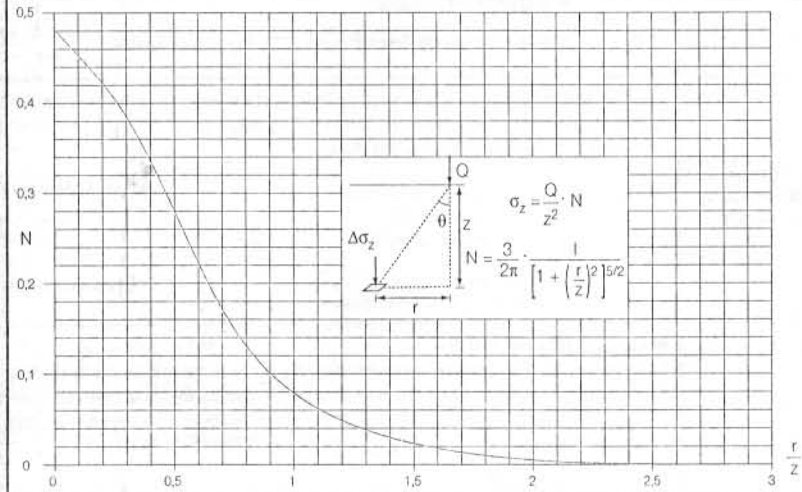
Il sera facile d'évaluer les accroissements de contrainte (Δσ) pour :

- des charges linéiques (cas d'école),
- des charges réparties limitées, (bâtiment – réservoir) rectangulaires ou circulaires,
- des charges trapézoïdales.

$$\sigma = \gamma \cdot z + \Delta\sigma$$



ACCROISSEMENT DE CONTRAINTE DÛ À UNE CHARGE LINÉIQUE — FORMULE DE BOUSSINESQ



ACCROISSEMENT DE CONTRAINTE DÛ À UNE CHARGE RECTANGULAIRE UNIFORMÉMENT RÉPARTIE

Connaissant q, a, b et z, l'abaque donne k (donc Δσ) à la verticale d'un coin de la surface de chargement.

Afin de calculer Δσ à la verticale d'un point quelconque, il suffit d'effectuer une décomposition fictive de la surcharge en plusieurs surcharges concourantes à la verticale de ce point de calcul.

- données : z, a, b, q
- abaque donne : coef. k

$$\Delta\sigma = k \cdot q$$

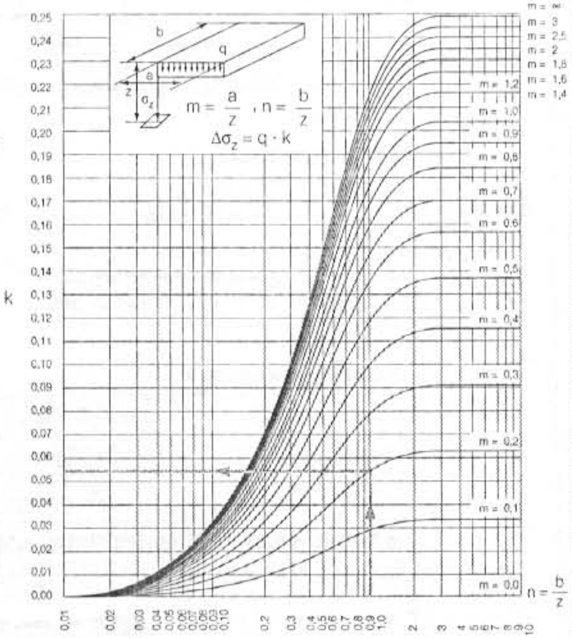
Exemple :

avec : $m = \frac{a}{z} = 0{,}2$

$n = \frac{b}{z} = 1{,}0$

donne : k = 0,054

Note : m et n sont interchangeables.



ACCROISSEMENT DE CONTRAINTE DÛ À UNE CHARGE CIRCULAIRE UNIFORMÉMENT RÉPARTIE

Connaissant q, r et z, l'abaque donne J (donc $\Delta\sigma$) à la verticale du centre de la charge circulaire.

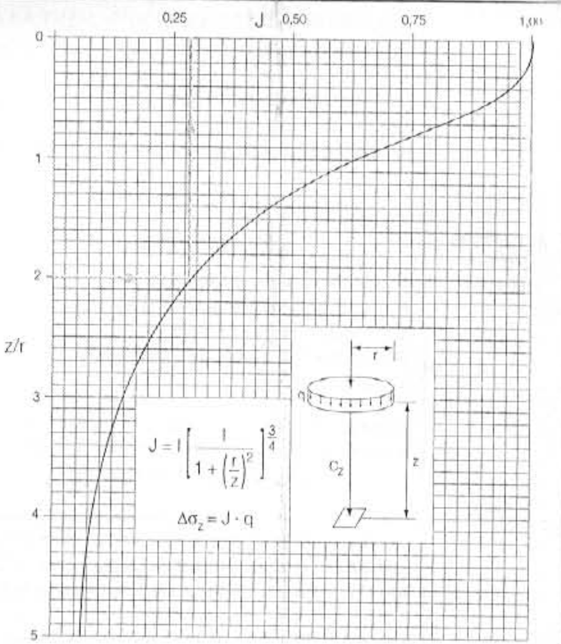
- données : z, r, q
- abaque donne : coef. J

$$\Delta\sigma = J \cdot q$$

Exemple :

si : $\frac{z}{r} = 2$

alors : $J = 0{,}28$



ACCROISSEMENT DE CONTRAINTE DÛ À UNE CHARGE TRAPÉZOÏDALE

Connaissant q, a, b et z, l'abaque donne I (donc $\Delta\sigma$), à la verticale de l'extrémité de la banquette d'un demi-remblais.

- données : z, a, b, q
- l'abaque donne : coef. I

$$\Delta\sigma = I \cdot q$$

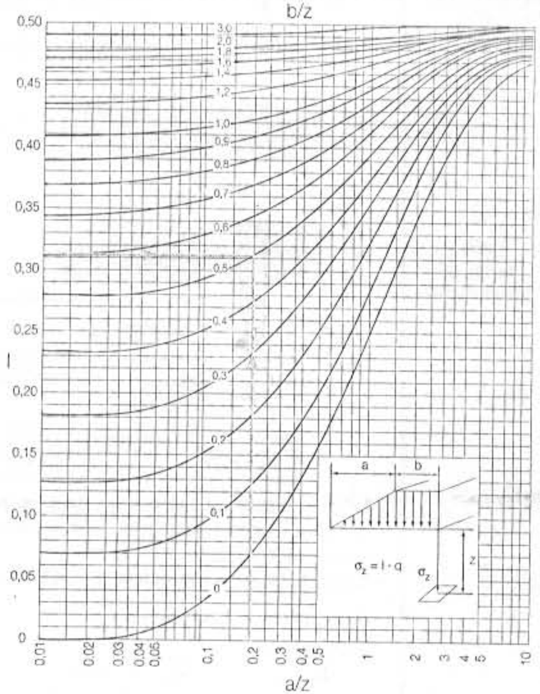
pour un demi-remblais.

Exemple :

si : $\frac{a}{z} = 0{,}2$

$\frac{b}{z} = 0{,}5$

alors : $I = 0{,}312$

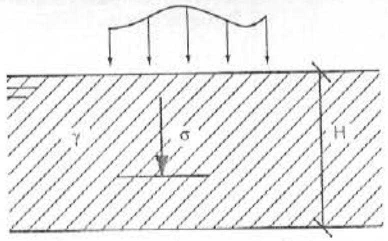


ÉVALUATION DES TASSEMENTS PAR LA MÉTHODE ŒDOMÉTRIQUE

PRINCIPE

L'évaluation des tassements par la méthode œdométrique se fait dans le cadre restrictif d'une déformation du sol (voir chapitre 38).

Hypothèse : sols normalement consolidés ($\sigma'_p = \sigma'_{v0}$)



- γ poids volumique du sol (kN/m³)
- e_0 indice des vides initial (%)
- C_c indice de compressibilité
- σ'_p contrainte effective de préconsolidation (kPa)
- σ'_{v0} contrainte effective initiale (kPa)

Remarque : Toutes ces valeurs sont des valeurs moyennes de caractéristiques calculées à mi-épaisseur de la couche.

Le tassement vaut :

$$S = \frac{H}{1 + e_0} \cdot C_c \cdot \lg\left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma}{\sigma'_p}\right)$$

Remarque : Ces caractéristiques étant moyennes, on pourra effectuer un calcul plus précis en décomposant la couche de sol d'épaisseur H, en plusieurs sous couches dont les épaisseurs H_i ne seront toutefois jamais inférieures à 1 ou 2 m.

Le tassement vaut :

$$S = \Sigma S_i = \Sigma\left(\frac{H_i}{1 + e_{0i}} \cdot C_{ci} \cdot \lg\left(\frac{\sigma'_{v0i} + \Delta\sigma_i}{\sigma'_{pi}}\right)\right)$$

PRÉSENTATION DES CALCULS ET EXEMPLES DE VALEURS

La présentation des calculs sera efficace sous la forme suivante :

n° de la sous-couche	σ	u	σ'	Δσ	σ' + Δσ	S
						S total

Quelques ordres de grandeur des caractéristiques de sols surconsolidés

($\sigma'_p > \sigma'_{v0}$) à 5 m de profondeur, nappe affleurante

La pression de préconsolidation est supérieure à la pression effective existante (cas des sols anciens). On négligera le tassement pour les valeurs de contraintes comprises entre σ'_{v0} et σ'_p.

Sol	σ'_{v0} (kPa)	σ'_p (kPa)	C_c
Sable de Fontainebleau (sol grenu)	-	-	-
Argile verte du Sannoisien (sol fin)	48,5	85	0,05
Limon d'Orly (sol fin)	40	60	0,1
Vase de Martrou (sol organique)	25	44	1,2
Tourbe de Bourgoin (sol organique)	– 17,5	51	1,8

ÉVALUATION DES TASSEMENTS (AUTRES MÉTHODES)

■ À PARTIR DE LA THÉORIE DE L'ÉLASTICITÉ (théorique) :

Tassement d'une fondation circulaire rigide sur un massif élastique semi-infini.

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1 - \nu^2}{E} \cdot q \cdot B = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{1 - \nu}{G} \cdot q \cdot B$$

ν : coefficient de Poisson ; E : module pressiométrique ; G : module de cisaillement

■ À PARTIR D'ESSAIS PRESSIOMÉTRIQUES

L'évaluation des tassements par la méthode pressiométrique se fera dans le cadre de résultats d'essais pressiométriques (voir chapitre 38).

$$S = \frac{1 - \nu}{E_d} \cdot qB_0 \cdot \left(\lambda_d \frac{B}{B_0}\right)^{\alpha} + \frac{\alpha}{E_c} \cdot q\lambda_c B$$

- q : pression appliquée au niveau de la fondation
- ν : coefficient de Poisson du sol, fixé à $\nu = 1/3$
- B_0 : largeur (ou diamètre) de référence : $B_0 = 60$ cm
- α : « coefficient de structure du sol » variable selon la nature du matériau et le rapport E_M/pl obtenu au pressiomètre (pl étant la pression limite). Ce coefficient est donné par le tableau ci-dessous.
- λ_d et λ_c : « coefficients de forme » dépendant du rapport L/B. Ils sont donnés par le tableau ci-dessous. E_d et E_c sont les modules de déformation correspondant respectivement au tassement dû à la consolidation (terme sphérique) et au tassement dû à la distorsion (terme déviatorique).

■ VALEURS DU COEFFICIENT α

Type de matériau	Tourbe		Argile		Limon		Sable		Sable et gravier	
	E/pl	α	E/pl	α	E/pl	α	E/pl	α	E/pl	α
Surconsolidé			> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Normalement consolidé		1	9 à 16	2/3	8 à 14	1/2	7 à 12	1/3	6 à 10	1/4
Altéré et remanié			7 à 9	1/2		1/2		1/3		1/4

■ VALEURS DES COEFFICIENTS DE FORME λ_d ET λ_c

L/2 R	1		2	3	5	20
	cercle	carré				
λ_d	1	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65
λ_c	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Dans le cas d'un sol homogène :

$$E_d = E_c = E_M$$

Dans le cas de sols hétérogènes, on découpe le sol en tranches dont les limites se trouvent aux profondeurs :

$$R = \frac{B}{2},\ 2\,R,\ 5\,R,\ 8\,R \text{ et } 16\,R$$

ÉVALUATION DES TASSEMENTS (AUTRES MÉTHODES)

■ À PARTIR D'ESSAIS DE CHARGEMENT À LA PLAQUE

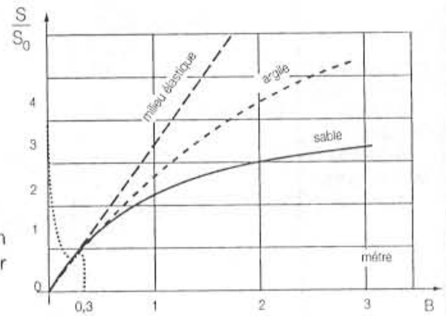
L'évaluation des tassements se fera à partir des essais de chargement à la plaque (ordre de grandeur – massifs semi-infinis et homogènes).

La théorie de l'élasticité montre qu'à charge égale le tassement d'une plaque à la surface d'un massif semi-infini homogène est proportionnel au rayon de la plaque. Dans le cas des sables, Terzaghi et Peck ont proposé une relation empirique :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{2.B}{B + B_0}\right)^2$$

- S : tassement de la fondation
- B : plus petite dimension de la fondation
- S_0 : tassement de la plaque
- B_0 : plus petite dimension de la plaque (30 cm)

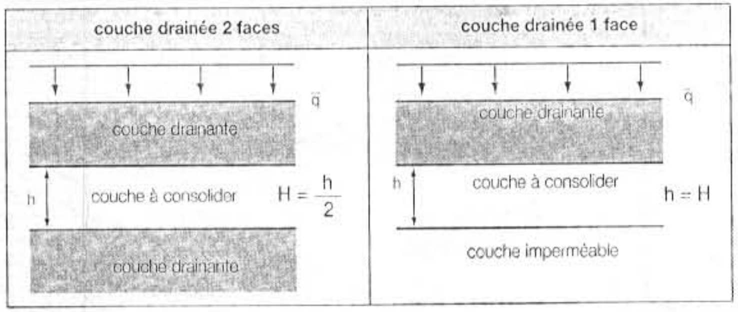
L'abaque ci-contre permet de trouver un ordre de grandeur de S/S_0 (donc de S) pour les sables et les graviers, connaissant B.



TEMPS ET DEGRÉ DE CONSOLIDATION

La théorie de Terzaghi permet de déterminer le temps (en secondes) et le degré (en pourcentage) de consolidation des sols fins. La perméabilité des sols fins étant faible, la durée de consolidation t pour obtenir un degré de consolidation U (en % du tassement final) est fonction :

– de la longueur du chemin de drainage H de l'eau interstitielle, au travers de la couche à consolider,



– du coefficient de consolidation C_v :

Sol	C_v (m²/s)	Sol	C_v (m²/s)
Sable de Fontainebleau	∞	Vase de Martrou	8×10^{-7}
Argile verte du Sannoisien	3×10^{-5}	Tourbe de Bourgoin	4×10^{-7}
Limon d'Orly	5×10^{-6}		

Une fois le tassement final calculé, deux calculs restent à faire :
- calcul du temps t nécessaire à l'obtention d'un tassement S_t correspondant à un degré de consolidation U %.
- calcul du tassement S_t obtenu au bout d'un temps de consolidation t.

Tassement	Degré de consolidation	Facteur temps	Temps de consolidation
S_t	$U = \frac{S_t}{S_{final}}$	$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2}$	$t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v}$

TEMPS ET DEGRÉ DE CONSOLIDATION

Abaque reliant U et T_v

$$\overline{U} = f(T_v)$$

pour une couche compressible chargée uniformément.

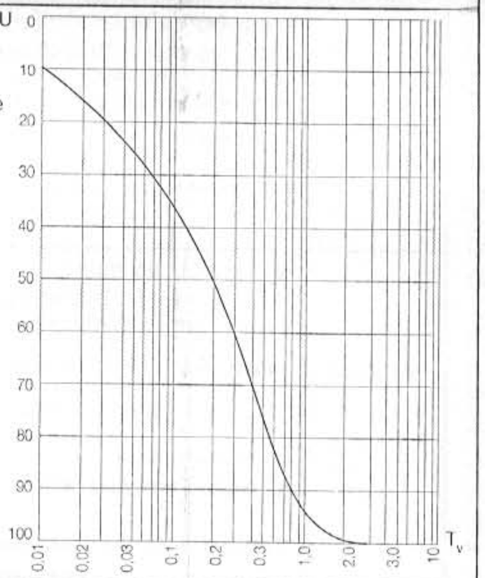
Degré moyen de consolidation : $\overline{U}$ %

Facteur temps :

$$T_v = \left(\frac{C_v}{H^2} \cdot t \right)$$

Remarque importante :

Pour les couches de sols très compressibles, prendre en compte le chemin de drainage moyen entre le début de consolidation et la date (ou degré) de consolidation recherchée.



31.3 POUSSÉE ET BUTÉE DES TERRES

SOLS AU REPOS

La contrainte longitudinale σ_H est proportionnelle à la contrainte verticale σ_V.

$$\sigma_H = K_0 \cdot \sigma_V$$

avec : $K_O = 1 - \sin \phi$ (formule de Jacky)

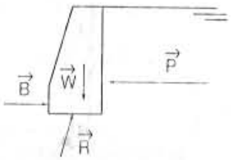
ϕ : angle de frottement interne du sol

Sol	K_O
Sable de Fontainebleau	(γ_d = 1,60) 0,48
Limon d'Orly	0,45
Argile verte	(σ'_p/σ'_0 = 1,7) 0,61
Vase de Martrou	1,00
Tourbe de Bourgoin	0,45

ÉQUILIBRE DE RANKINE

Le massif est semi-infini à surface horizontale.

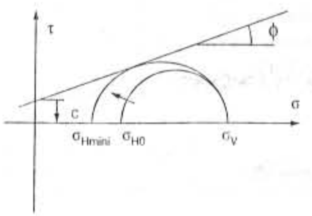
Le frottement sol/ouvrage est nul.

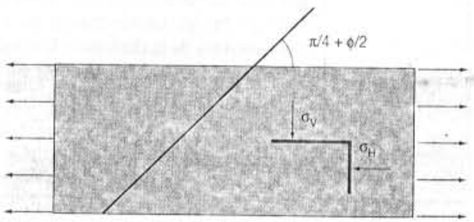


ÉTAT DE POUSSÉE (SELON RANKINE)

Si on crée une expansion du sol, la contrainte horizontale décroît jusqu'à une valeur minimum, atteinte pour un déplacement d'au moins le millième de la hauteur sur laquelle s'exerce la poussée.

Les lignes de rupture dans le massif sont inclinées à ($\pi/4 + \phi/2$).



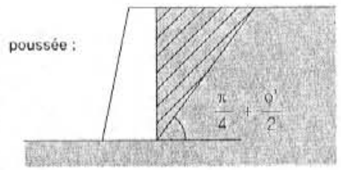


ÉTAT DE POUSSÉE (SELON RANKINE) (suite)

• **Sol pulvérulent** (en contraintes effectives)

$$\sigma'_H = \vec{Ka} \cdot \sigma'_V$$
$$\sigma_H = \sigma'_H + U$$

poussée :



• **Sol cohérent** (la cohésion tend à minorer la contrainte) :

– à court terme (en contraintes totales) :

$$\sigma_{Hmin} = \sigma_V - 2.Cu$$

– à long terme (en contraintes effectives) :

$$\sigma'_{Hmin} = \sigma'_V - 2.Cu$$
$$\sigma_H = \sigma'_H + U$$

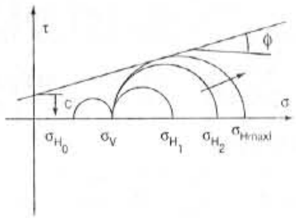
• **Coefficient de poussée K_a :**

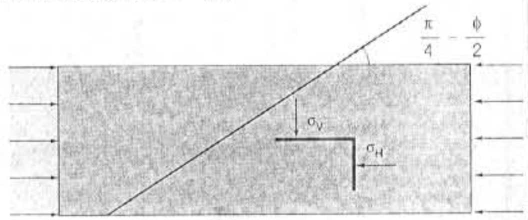
$$K_a = \tan^2 (\pi/4 - \phi/2)$$

ÉTAT DE BUTÉE (SELON RANKINE)

Si on crée une compression du sol, la contrainte horizontale croît jusqu'à une valeur maximum, atteinte pour un déplacement d'au moins le dixième de la hauteur sur laquelle s'exerce la poussée.

Les lignes de rupture dans le massif sont inclinées à ($\pi/4 - \phi/2$)

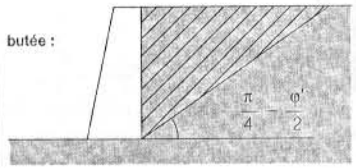




• **Sol pulvérulent** (en contraintes effectives) :

$$\sigma'_H = K_p \cdot \sigma'_V$$
$$\sigma_H = \sigma'_H + U$$

butée :



• **Sol cohérent** (la cohésion tend à majorer la contrainte) :

– à court terme (en contraintes totales) :

$$\sigma_{Hmin} = \sigma_V + 2.Cu$$

– à long terme (en contraintes effectives) :

$$\sigma'_{Hmin} = K_p\, \sigma'_V + 2.Cu$$
$$\sigma_H = \sigma'_H + U$$

• **Coefficient de poussée Kp :**

$$K_p = \tan^2 (\pi/4 + \phi/2)$$

ÉQUILIBRE DE CAQUOT-KERISEL

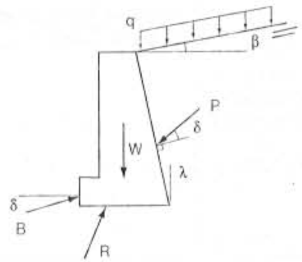
La résultante de poussée P (ou de butée B) est inclinée d'un angle δ par rapport à la normale à l'écran :

δ = 0 si le frottement sol/écran est faible

δ = φ si le frottement sol/écran est maximum (sol/sol)

δ = 2/3 . φ dans le cas général

$$\sigma_a = K_{a\gamma} \cdot \gamma \cdot z + K_{aq} \cdot q - K_{ac} \cdot c$$
$$\sigma_p = K_{p\gamma} \cdot \gamma \cdot z + K_{pq} \cdot q - K_{pc} \cdot c$$



ÉQUILIBRE DE CAQUOT-KERISEL (suite)

- **Coefficients de poussée et de butée**

Valeurs de $K_{a\gamma}$ (sur la première ligne) et de $K_{p\gamma}$ (sur la deuxième ligne) (surface libre horizontale, écran vertical) pour diverses valeurs de δ (d'après Caquot-Kérisel).

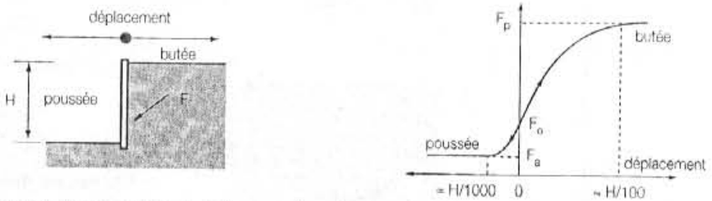
	valeurs de ϕ									
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
$\frac{\delta}{\phi} = 1 \ldots$	0,81 0,99	0,65 0,98	0,53 0,97	0,44 0,95	0,37 0,93	0,31 0,90	0,26 0,86	0,22 0,80	0,185 0,73	0,155 0,64
$\frac{\delta}{\phi} = \frac{2}{3} \ldots$	0,81 1,08	0,66 1,16	0,54 1,24	0,44 1,33	0,36 1,44	0,30 1,56	0,25 1,68	0,20 1,8	0,16 1,7	0,13 1,6
$\frac{\delta}{\phi} = \frac{1}{3} \ldots$	0,82 1,15	0,67 1,30	0,56 1,49	0,45 1,70	0,37 1,93	0,30 2,20	0,25 2,5	0,20 2,8	0,16 3,2	0,13 3,6
$\frac{\delta}{\phi} = 0 \ldots$	0,84 1,19	0,70 1,42	0,59 1,70	0,49 2,04	0,41 2,46	0,33 3	0,27 3,7	0,22 4,6	0,17 5,8	0,13 7,5
$\frac{\delta}{\phi} = \frac{1}{3} \ldots$	0,88 1,22	0,75 1,52	0,64 1,89	0,52 2,38	0,46 3,03	0,39 4,02	0,32 5,55	0,26 8,1	0,20 12	0,16 19
$\frac{\delta}{\phi} = -\frac{2}{3} \ldots$	0,94 1,24	0,81 1,59	0,72 2,06	0,64 2,72	0,56 3,61	0,48 5,25	0,40 8,0	0,34 12,8	0,27 21	0,22 41
$\frac{\delta}{\phi} = -1 \ldots$	1,04 1,26	1,06 1,66	1,05 2,20	1,04 3,04	1,02 4,26	0,98 6,56	0,94 10,7	0,88 18,2	0,82 35	0,75 75

Si on décompose en contrainte normale et tangentielle :

$$\sigma_n = K_{a\gamma} \cdot \gamma \cdot z + K_{aq} \cdot q - K_{ac} \cdot c \qquad \text{avec :} \quad K_{a\gamma} = K_{a\gamma} \cdot \cos \delta$$
$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \phi \qquad\qquad K_{aq} = K_{a\gamma} / \cos (\beta - \lambda)$$
$$K_{ac} = (1 - K_{aq}) / \tan \phi$$

MOBILISATION DE LA POUSSÉE OU DE LA BUTÉE

Afin de mobiliser les états de poussée ou de butée, il faut que le massif de terrain sollicité ait subi des déplacements ; les ordres de grandeur habituellement retenus sont :



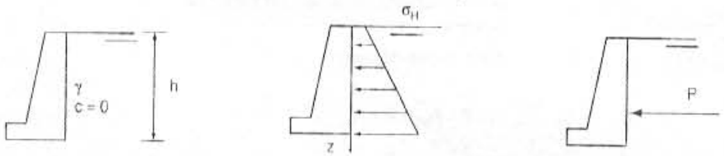
Nota : La butée reste difficile à mobiliser ; le déplacement nécessaire est grand (10 fois plus que pour la poussée). De plus, la plus faible inclinaison des lignes de rupture intéresse une emprise de terrain à l'aval plus importante, souvent remaniée ou interrompue au cours des travaux.

CALCUL DE LA RÉSULTANTE DE POUSSÉE OU DE BUTÉE

En intégrant l'expression de la contrainte sur la hauteur de l'écran sur laquelle s'exerce la poussée ou la butée, on obtient la surface du diagramme (Rankine).

Soit, par exemple :

$$P = \int_0^h K_{a\gamma} \cdot \gamma \cdot z \, dz = 1/2 \cdot K_{a\gamma} \cdot \gamma \cdot z^2$$



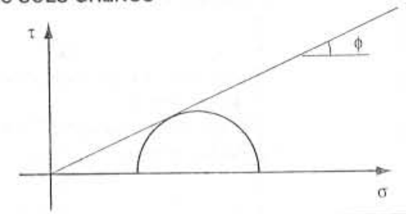
31.4 CISAILLEMENT DES SOLS

SOLS GRENUS

■ CRITÈRE DE MOHR-COULOMB POUR LES SOLS GRENUS

Sous chargement, le sol se draine presque instantanément. Le comportement du sol est régi par le comportement du squelette solide :

- **Sol sec :** $\tau = \sigma \cdot \tan\phi$
- **Sol saturé :** $\tau' = \sigma' \cdot \tan\phi'$
  $\tau = \tau'$



SOLS FINS

■ ÉTAT DE LONG TERME

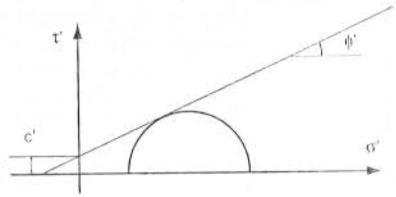
L'eau a eu le temps de s'évacuer et ne joue donc plus de rôle. Le comportement du sol est donc étudié en contraintes effectives :

- **essai CD (consolidé – drainé) :**

$$\tau' = c' + \sigma' \cdot \tan\phi'$$

c' cohésion drainée

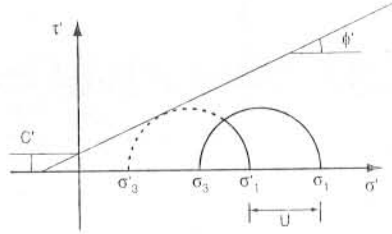
ϕ' angle de frottement effectif



- **essai CU (consolidé – non drainé) :**

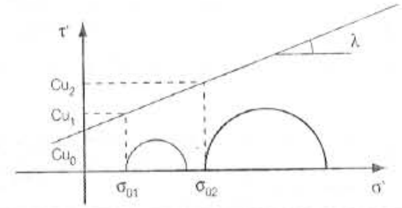
Il permet d'obtenir plus rapidement qu'avec un essai CD, les caractéristiques à long terme d'un sol C' et ϕ', par la mesure de la pression interstitielle :

σ_1, σ_3, U	$\xrightarrow{\text{essai CU}}$	σ'_1, σ'_3, ϕ' et C'



Il permet de voir l'évolution de Cu, cohésion non drainée (court terme) en fonction de la contrainte de préconsolidation :

$$Cu = Cu_0 + \lambda \cdot \sigma_0 \qquad \text{avec } \lambda = \frac{\Delta Cu}{\Delta \sigma'_p}$$



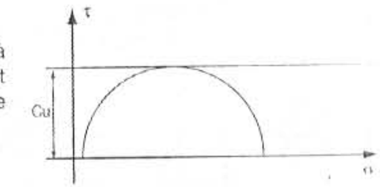
■ ÉTAT DE COURT TERME

L'eau n'a pas eu le temps de s'évacuer. Le sol se déforme à volume constant. L'eau joue donc un rôle important car elle « encaisse » à t = 0 les accroissements de contrainte (cf. : consolidation des sols fins).

Essai UU (non consolidé – non drainé) :

La préconsolidation et le chargement s'effectuent à drainage fermé. La résistance au cisaillement est indépendante de la contrainte isotrope initiale, seule l'eau reprend les accroissements de contrainte.

$$\tau = Cu$$



Nota : Les cercles de Mohr à rupture en contraintes totales sont translatés par rapport aux cercles de Mohr à rupture en contraintes effectives et ne jouent donc plus de rôle. Le comportement du sol est donc étudié en contraintes effectives.

CARACTÉRISTIQUES DE QUELQUES SOLS

Sol	φ'	C' (kPa)	Cu (kPa)
Limon d'Orly	39°	0	50
Argile verte	20°	19	120
Vase de Martrou	26°	13	18
Tourbe de Bourgoin	39°	5	14
Sable de Fontainebleau	30° à 43°	0	/

31.5 PORTANCE DES SOLS

CONTRAINTE DE CALCUL DÉDUITE DE L'EXPÉRIENCE q (MPa)

La contrainte de calcul q peut être déduite de l'expérience acquise sur des réalisations voisines pour un sol et un ouvrage donnés.
Les valeurs ci-contre sont des ordres de grandeur des contraintes de calcul q admises en fonction de la nature du sol, en l'absence de tout problème particulier.

Nature du sol	q (MPa)
Roches peu fissurées saines non désagrégées et de stratification favorable	0,75 à 4,5
Terrains non cohérents à bonne compacité	0,35 à 0,75
Terrains non cohérents à compacité moyenne	0,2 à 0,4
Argile (1)	0,1 à 0,3

(1) Certaines argiles, très plastiques, ne sont pas visées dans ce tableau.

CONTRAINTE DE CALCUL À PARTIR D'ESSAIS q (MPa)

Afin de déterminer la valeur de contrainte de calcul q, on calcule à partir des résultats d'essais géotechniques du sol de fondation une valeur de contrainte ultime q_u.

$$q = \frac{q_u}{2}$$

CONTRAINTE ULTIME À PARTIR D'ESSAIS DE LABORATOIRE q_u (MPa)

En général, les essais de laboratoire conduisent à la connaissance des 3 paramètres suivants :

- C : cohésion,
- φ : angle de frottement interne du sol
- γ : masse volumique

Pour une semelle de largeur B, de longueur L, et d'encastrement D, soumise à une charge verticale centrée, on a l'expression générale suivante de la contrainte ultime q_u :

$$q_u = S_c \cdot C \cdot N_c + \frac{1}{2} \cdot S_\gamma \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + S_q \cdot \gamma \cdot D \cdot N_q$$

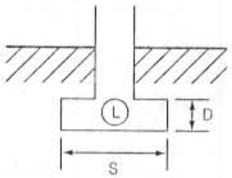
Cette expression générale de q_u est composée respectivement d'un terme de cohésion, d'un terme géométrique et d'un terme d'encastrement.

Coefficients de forme

$$S_c = 1 + 0{,}2\,\frac{B}{L}$$

$$S_\gamma = 1 - 0{,}2\,\frac{B}{L}$$

$$S_q = 1$$



N_c, N_γ et N_q sont des paramètres sans dimension dépendant de φ. Ils sont donnés par le tableau suivant :

φ	N_c	N_γ	N_q
0	5,14	0	1,00
5	6,50	0,10	1,50
10	8,40	0,50	2,50
15	11,00	1,40	4,00
20	14,80	3,50	6,40
25	20,70	8,10	10,70
30	30,00	18,10	18,40
35	45,00	41,10	33,30
40	75,30	100,00	54,20
45	134,00	254,00	135,00

CONTRAINTE ULTIME À PARTIR D'ESSAIS DE LABORATOIRE q_u (MPa) (suite)

Dans le cas d'une charge inclinée d'un angle δ par rapport à la verticale, les trois termes de la formule précédente sont chacun affectés d'un coefficient minorateur :

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{2 \cdot \delta}{\pi}\right)^2 \qquad i_\gamma = \left(1 - \frac{\delta}{\phi}\right)^2$$

Dans le cas d'une charge excentrée, d'excentrement **e** la largeur à prendre en compte en lieu et place de B est :

$$B' = B - 2 \cdot e$$

Remarque importante

L'expression générale de q_u sera très sensiblement modifiée suivant que l'on considère un état de court terme ou un état de long terme.
En effet, les caractéristiques de cohésion et d'angle de frottement interne d'un sol fin peuvent varier énormément. Par exemple, pour une semelle filante chargée verticalement, à court terme.

Essai UU avec C = Cu
et φ = 0

$$q_u = Cu + \gamma \cdot D$$

CONTRAINTE ULTIME À PARTIR D'UN ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE q_u (MPa)

Les essais pressiométriques permettent de déterminer à différents niveaux la pression limite p_l et le module pressiométrique E_M.

Pour chaque niveau, la pression limite nette correspondante est :

$$P_l^* = P_l + P_o$$

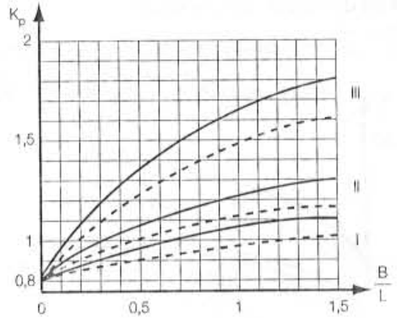
(ou p_o est la contrainte totale horizontale dans le sol au niveau concerné et au moment de l'essai).

Pour une semelle de largeur B, le longueur L, et d'encastrement D, soumise à une charge verticale centrée, on a l'expression générale suivante de la contrainte ultime q_u :

$$q_u = K_p \cdot p_{le}^* + \gamma \cdot D$$

avec :

- γ poids volumique du sol éventuellement déjaugé
- p_{le}^* pression limite nette équivalente calculée comme la valeur moyenne des pressions limites nettes existantes sur une profondeur égale à 1,5 · B située sous la semelle. Les pressions limites nettes étant toutefois plafonnées à 1,5 fois leur valeur minimale sur la profondeur envisagée.
- K_p facteur de portance qui dépend des dimensions de la fondation, de son encastrement relatif et de la nature du sol. Il est donné par l'abaque suivant :

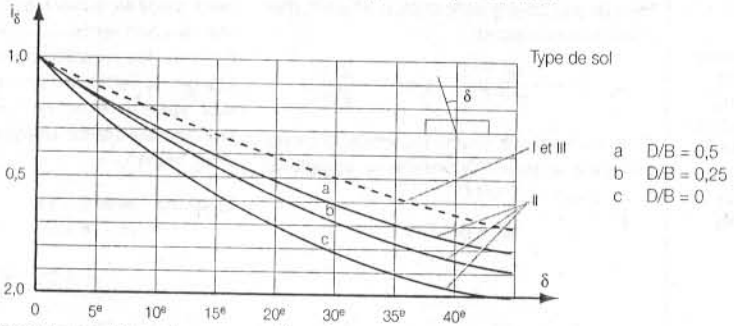


	Type de sol
III	Craie Marnes Marnocalcaires Roches altérées ou fragmentées
II	Sables Graviers
I	Argile Limon

- - - Semelle carrée K_p1
—— Semelle filante K_p0
Semelle rectangulaire $K_p = K_p1 \dfrac{B}{L} + K_p0\left(1 - \dfrac{B}{L}\right)$

CONTRAINTE ULTIME À PARTIR D'UN ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE q_u (MPa) (suite)

Dans le cas d'une charge inclinée d'un angle δ par rapport à la verticale, la valeur de $K_p \cdot P_{le}^*$ est affectée d'un coefficient minorateur qui tient compte de l'inclinaison, de la nature du sol et de l'encastrement relatif. Ce coefficient est donné par l'abaque suivant :



Dans le cas d'une charge excentrée, d'excentrement **e** la largeur à prendre en compte en lieu et place de B est :

$$B' = B - 2 \cdot e$$

CONTRAINTE ULTIME À PARTIR D'UN ESSAI PÉNÉTROMÉTRIQUE q_u (MPa)

L'essai au pénétromètre statique fait apparaître un profil continu de pénétration donnant la résistance de pointe q_c en fonction de la profondeur.

Pour une semelle de largeur B, de longueur L, et d'encastrement D, soumise à une charge verticale centrée, on a l'expression générale suivante de la contrainte ultime q_u :

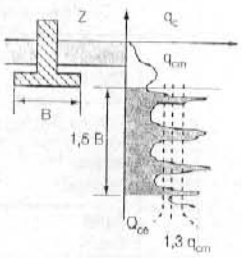
$$q_u = K_c \cdot Q_{ce} \cdot i_\delta + \gamma \cdot D$$

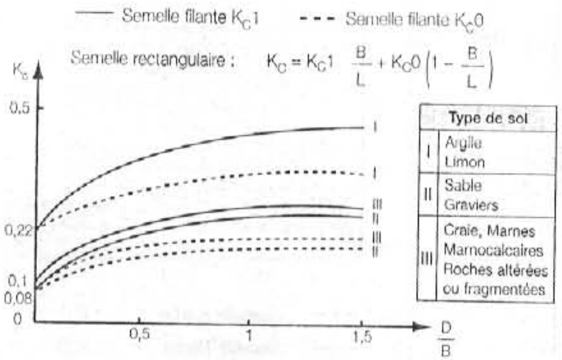
i_δ coefficient minorateur tenant compte de l'inclinaison de la charge (voir § précédent)

γ poids volumique du sol partiellement déjaugé le cas échéant

Q_{ce} résistance de pointe équivalente calculée comme la valeur moyenne des résistances de pointe nettes sur une profondeur égale à 1,5 · B située sous la semelle. Les résistances de pointe nettes sont déduites des résistances de pointe mesurées en écrêtant les valeurs supérieures à 1,3 fois la moyenne calculée sur 1,5 · B des résistances de pointe mesurées. Le cas de profils de pénétration qui fait apparaître dans la zone d'action des fondations de l'ouvrage des valeurs de $q_c < 0{,}5$ MPa doit faire l'objet d'une étude complémentaire avant de choisir le type de fondation et la contrainte q_u.

K_c facteur de portance qui dépend des dimensions de la fondation, de son encastrement relatif et de la nature du sol. Il est donné par l'abaque suivant :





Dans le cas des charges inclinées ou excentrées, on effectuera la rectification comme indiqué au paragraphe précédent.

31.6 OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT

ACTIONS À CONSIDÉRER – ÉQUILIBRE EXTERNE

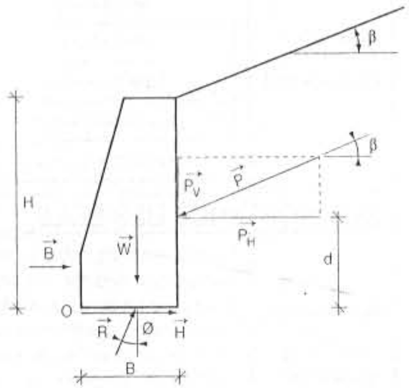
■ **ACTIONS MOTRICES**

- Actions gravitaires W : poids de l'ouvrage et des remblais associés
- Poussée P : dû au poids des terres, aux surcharges, à la poussée hydrostatique : P_H, P_V

■ **ACTIONS RÉSISTANTES**

- Réaction du sol R :
  $R_V = W + P_V$
  $R_H = (W + P_V) \tan \phi$
- Butée des terres B (souvent difficile à mobiliser, donc négligée dans le calcul) :
- Cohésion du sol H :
  $H = C \cdot B$
  avec C cohésion
  B largeur du mur

■ **ÉQUILIBRE EXTERNE** (mur poids) :



SOUTÈNEMENT RIGIDE – STABILITÉ ET MODES DE RUPTURE

■ **STABILITÉ ET MODES DE RUPTURE**

La méthode classique de prédimensionnement des ouvrages de soutènement consiste à vérifier la stabilité de l'ouvrage, bien au-delà de l'équilibre statique externe précédemment décrit, par le biais de coefficients de sécurité F.

La vérification de stabilité de l'ouvrage sera donc menée vis-à-vis de trois modes de rupture envisagés de façon dissociés (bien qu'il soit plus réaliste de considérer une combinaison de ces modes de rupture).

• **Stabilité au glissement**

C'est le rapport de la résultante des forces qui tendent à retenir l'ouvrage sur celle des forces qui tendent à le faire glisser. Par sécurité ce rapport sera supérieur à 1,5.

$$F = \frac{(W + P_V) \cdot \tan \phi + C \cdot B}{P_H} \quad ; F \geq 1{,}5$$

• **Stabilité au renversement**

C'est le rapport de la résultante des forces qui tendent à retenir l'ouvrage sur celle des forces qui tendent à le renverser. Par sécurité ce rapport sera supérieur à 1,5.

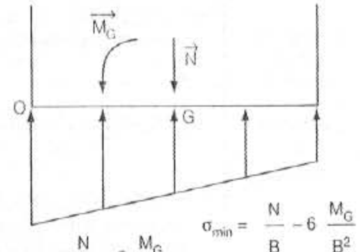
$$F = \frac{M_{/O}(W + P_V)}{M_{/O}(P_H)} \quad ; F \geq 1{,}5$$

• **Stabilité au poinçonnement**

Si la réaction du sol est dans le tiers central : après avoir calculé la répartition de contrainte au sol, on détermine une contrainte $\sigma_{3/4}$ qui devra rester inférieure ou égale à la contrainte de calcul de force portante du sol q.

$$\sigma_{3/4} = \frac{3 \cdot \sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} \quad \text{avec} \begin{cases} N = W + P_v \\ M_G = \dfrac{M_{actions}}{G} \end{cases}$$

$$\sigma_{3/4} \leq q = \frac{q_u}{2}$$



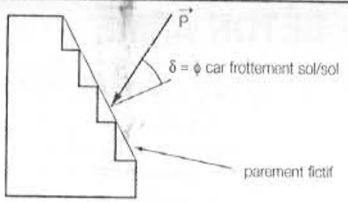
$$\sigma_{max} = \frac{N}{B} + 6\,\frac{M_G}{B^2} \qquad \sigma_{min} = \frac{N}{B} - 6\,\frac{M_G}{B^2}$$

Si la réaction du sol n'est pas dans le tiers central : alors, on mènera le même calcul avec une largeur réduite de fondation B = B' (voir calcul de force portante) ou bien on redimensionnera l'ouvrage.

SOUTÈNEMENT RIGIDE CAS PARTICULIERS

MUR POIDS À REDANS

On considère un parement fictif :

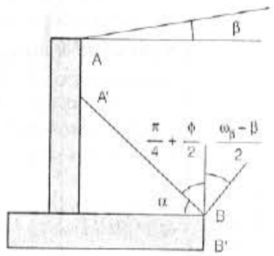


MUR CANTILEVER (BA)

Il existe un coin de terrain solidaire du mur avec

$$\sin \omega_\beta = \frac{\sin \beta}{\sin \phi}$$

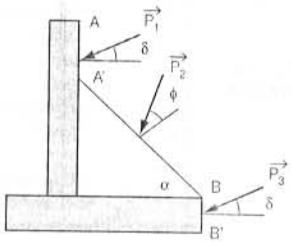
$$\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} + \frac{\omega_\beta - \beta}{2}$$



- **Si A est en dessus de A'**

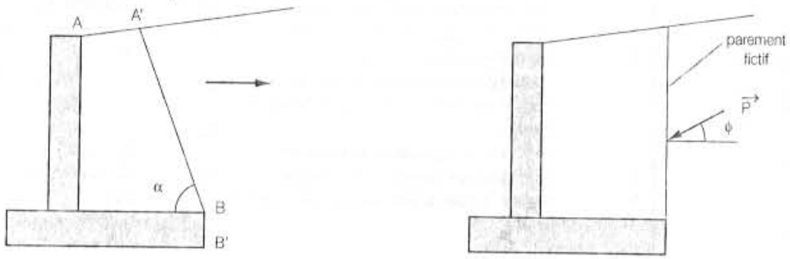
Alors on fera trois calculs de poussée sur chacune des faces :

sur AA' : P_1 incliné de δ
sur A'B : P_2 incliné de ϕ
sur BB' : P_3 incliné de δ



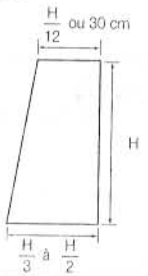
- **Si A est en dessous de A'**

Alors on calculera la poussée sur un écran fictif :

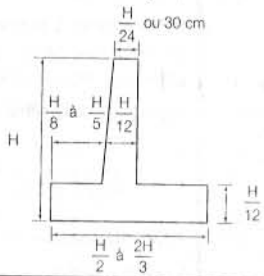


SOUTÈNEMENT RIGIDE PRÉDIMENSIONNEMENT

MUR POIDS



MUR CANTILEVER jusqu'à 5 m



SOUTÈNEMENT SOUPLE – DOMAINE D'UTILISATION DES MÉTHODES

Les interactions « sols/parois » dépendent :
- des déplacements,
- de la déformabilité de l'ouvrage.

MÉTHODES CLASSIQUES

- **Méthode de la butée simple** (coefficient 2 sur butée). Si on peut estimer que le pied de l'écran va se déplacer vers la fouille (Écran fiché dans les alluvions récentes – Parois peu souples dans les argiles).
- **Méthode du rideau encastré** (ou méthode de Blum) (ou méthode simplifiée de la portée équivalente). Méthode utilisée dans la majorité des cas : soutènement de sol moins consistant et écran fiché dans un sol plus raide.
- **Méthode de Rowe**. Fondée sur résultats d'essais sur modèles réduits utilisant des coefficients fonction de la flexibilité de l'écran peu utilisé en France.

AUTRES MÉTHODES

Elles nécessitent une modélisation sur ordinateur.

- **Méthode au module de réaction** : interaction sol/écran
- **Méthode par éléments finis** : calcul en déplacement – comportement global du sol

Il existe des méthodes analogiques (mécaniques ou électriques).

SOUTÈNEMENT SOUPLE – MÉTHODE DE LA BUTÉE SIMPLE

Cette méthode consiste à évaluer la fiche d'un rideau en écrivant que la somme des moments des actions par rapport à 0 est nulle. On obtient ainsi une équation du troisième degré en D :

Poussée

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot (H + D)^2$$

$$Z_a = \frac{2}{3} \cdot (H + D) - A$$

Butée

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot \gamma \cdot D^2$$

$$Z_p = H - A + \frac{2}{3} D$$

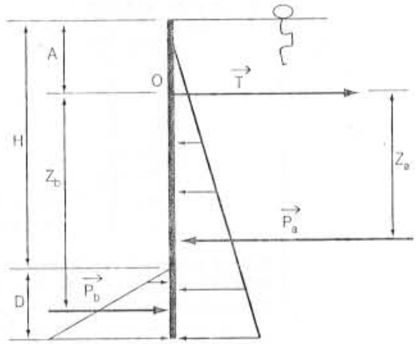
$\Sigma M^{t}/_0$ = équation du 3[e] degré en D = 0

D = ...

P_a = ...

P_p = ...

T = $P_a - P_p$



Calcul des sollicitations dans le rideau et de l'effort d'ancrage

Si le moment fléchissant et l'effort tranchant sont calculés avec les valeurs trouvées précédemment, le rideau se trouve en état d'équilibre limite !

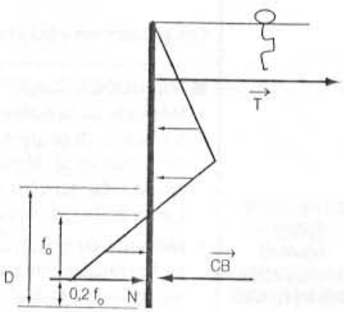
Par sécurité, on dimensionnera l'ouvrage :

- soit en adoptant une fiche
$D \cdot \sqrt{2}$ si le sol est pulvérulent
$2 \cdot D$ si le sol est cohérent.
- soit on recalcule D, en minorant de moitié la butée ($K_p/2$ et $\delta = 2/3 \cdot \phi$).

SOUTÈNEMENT SOUPLE – MÉTHODE DU RIDEAU ENCASTRÉ

Il existe des actions de contrebutée sous le point de rotation N de l'ouvrage.
- Les actions de contrebutée sont remplacées par une force CB.
- N est à 20% de la hauteur de butée différentielle.
- Au-dessus de N, poussée à l'amont, butée à l'aval.

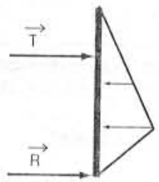
3 inconnues : D, T, CB
On calcule la position de N par approximations successives en écrivant que la tangente à la déformée est verticale.



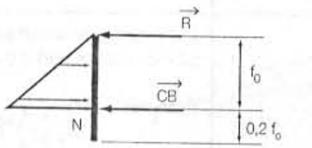
■ MÉTHODE SIMPLIFIÉE DE LA POUTRE ÉQUIVALENTE

Par hypothèse, le point N est considéré comme voisin du point de moment nul.
On décompose alors le système en deux poutres :

Par la RDM, on obtient T et R.

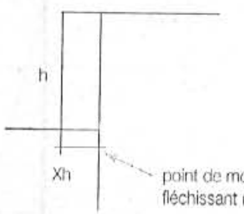


R étant connu, on calcule f_0 en écrivant l'équilibre des moments par rapport à N.

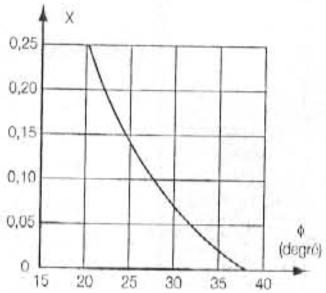


■ MÉTHODE DE BLUM

Cette méthode utilise une relation entre le point de moment fléchissant nul et l'angle de frottement interne du sol. Le calcul se poursuit ensuite comme pour la méthode de la poutre équivalente décrite précédemment.



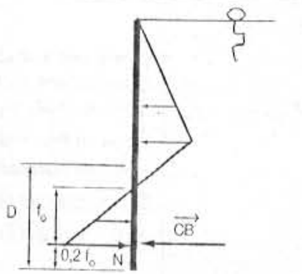
Nota : dans les calculs en rideau encastré, la butée n'est pas affectée d'un coefficient de sécurité. La stabilité en fiche est certaine du fait de l'existence d'un point de déplacement nul et des actions de contrebutée.



■ MÉTHODE DU RIDEAU AUTOSTABLE

Un rideau autostable est simplement encastré en pied.
2 équations – 2 inconnues (D ou f_0, CB)

Remarque :
On prendra un coefficient de sécurité de 2 sur la butée : $K_p/2$



32 BÉTON ARMÉ

32.1 NOTATION – CARACTÉRISTIQUES DES CONSTITUANTS DU B.A.

Les éléments de calculs figurant dans ce chapitre sont conformes aux règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé, suivant la méthode des états limites (BAEL 91). Ces règles sont applicables à tous les ouvrages et constructions en béton armé, dont le béton est constitué de granulats naturels normaux, avec un dosage en ciment au moins égal à 300 kg/m³ de béton mis en œuvre.
Les calculs justificatifs sont conduits suivant la théorie des états limites. On distingue :

• Les états limites ultimes (ELU)
Ils correspondent à la limite :
- soit de l'équilibre statique,
- soit de la résistance de l'un des matériaux,
- soit de la stabilité de forme.

• Les états limites de service (ELS)
Ils sont définis compte tenu des conditions d'exploitation ou de durabilité (états limites de déformation et d'ouverture des fissures).
Les différents renvois (exemple : Annexe C) correspondent aux chapitres du BAEL 91.

NOTATIONS UTILISÉES

■ PRINCIPALES NOTATIONS UTILISÉES (Annexe C)

G	charges permanentes	d	distance du barycentre des aciers tendus à la fibre extrême la plus comprimée
Q	actions ou charges variables	d'	distance du barycentre des aciers comprimés à la fibre extrême la plus comprimée
Q_B	charge d'exploitation sur les planchers de bâtiment		
S	actions dues à la neige	l_s	longueur de scellement droit
W	actions dues au vent	l_f	longueur de flambement
M_u	moment de calcul ultime	f_e	limite d'élasticité de l'acier
M_{ser}	moment de calcul de service	f	résistance d'un matériau (indicé quand il y a lieu ; exemple : f_{bu}, f_{st})
N_u, N_{ser}	effort normal		
V_u, V_{ser}	effort tranchant	f_{cj}, f_{c28}	résistance caractéristique à la compression du béton à j jours ou à 28 jours
A_{st}	aire d'une section d'acier tendu		
A_{sc}	aire d'une section d'acier comprimé	f_{tj}, f_{t28}	résistance caractéristique à la traction du béton à j jours ou à 28 jours
A_t	somme des aires des sections droites d'un cours d'armatures transversales	s_{bc}	contrainte de compression du béton
S_t	espacement des armatures transversales	s_{st}, s_{sc}	contrainte de traction ou de compression de l'acier
B	aire d'une section de béton		
E_s	module d'élasticité longitudinale de l'acier	g_b	coefficient partiel de sécurité sur le béton (g_b = 1,5)
E_b	module de déformation longitudinale du béton	g_s	coefficient partiel de sécurité sur l'acier (g_s = 1,15)
n	coefficient d'équivalence acier-béton	e_{bc}	raccourcissement relatif du béton comprimé
b	dimension transversale d'une section		
h	hauteur totale d'une section de béton armé	e_{sc}, e_{st}	déformation relative de l'acier comprimé ou tendu

CARACTÈRES DES MATÉRIAUX

■ BÉTON (A.2.1.)

• Résistance à la compression

Un béton est défini par une valeur caractéristique de sa résistance à la compression à 28 jours notée f_{c28}. Pour j < 28 jours

– pour $f_{c28} \leq 40$ MPa

$$f_{cj} = \frac{j}{4{,}76 + 0{,}83\,j}\,f_{c28}$$

– pour $f_{c28} > 40$ MPa

$$f_{cj} = \frac{j}{1{,}40 + 0{,}95\,j}\,f_{c28}$$

• Résistance à la traction

$f_{tj} = 0{,}6 + 0{,}06\,f_{cj}$ pour $f_{cj} \leq 60$ MPa (f_{tj} et f_{cj} en MPa)

CARACTÈRES DES MATÉRIAUX (suite)

• **Valeurs caractéristiques f_{t28} et f_{c28}**

En fonction du dosage et de la classe du ciment, article B.1.1. du BAEL 91

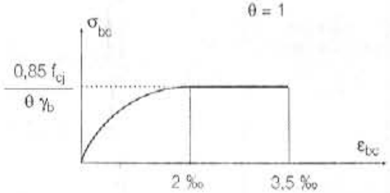
Classes du ciment		45 et 45 R		55 et 55 R	
Conditions de fabrication du béton		CC	AS	CC	AS
f_{c28} (MPa)	16	300			
	20	350	325	325	300
	25	*	400	375	350
	30	non admis	(1)	(1)	(1)

CC : conditions courantes de fabrication des bétons.
AS : conditions courantes de fabrications des bétons avec auto-contrôle surveillé.
(1) : cas à justifier par une étude appropriée

• **Diagramme déformations – Contraintes (ELU)**

Le diagramme pouvant être utilisé dans tous les cas est le diagramme de calcul dit « parabole – rectangle ».

Cas courants :
$\gamma_b = 1,5$
$\theta = 1$



ACIER

Principales armatures utilisées :

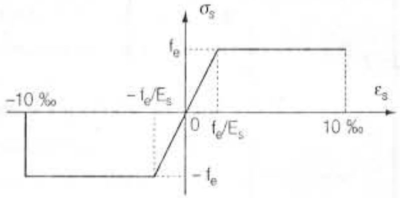
- aciers ronds lisses (NFA 35-015) nuances : Fe E 215, Fe E 235
- aciers à haute adhérence (NFA 35-016) nuances : Fe E 400, Fe E 500
- treillis soudés à fils lisses (NFA 35-022) nuance : TLE 500
- treillis soudés à haute adhérence (NFA 35-022) nuance : Fe TE 500

• **Module d'élasticité longitudinale**

$E_s = 20\ 000$ MPa

• **Diagramme déformations – contraintes**

Le diagramme de calcul des aciers à l'ELU se déduit en effectuant une affinité parallèlement à la tangente à l'origine dans le rapport $1/\gamma_s$ ($\gamma_s = 1,15$).



COMBINAISONS D'ACTION

• **Sollicitations de calcul vis-à-vis des ELU (A.3.3.2.)**

Combinaisons fondamentales :

$$1,35G_{max} + G_{min} + \gamma_{q1}\ Q_1 + \Sigma 1,3\Psi_{oi}Q_i$$

Cas courants : $\gamma_{q1} = 1,5$

• **Sollicitations de calcul vis-à-vis des ELS (A.3.3.3.)**

$$G_{max} + G_{min} + Q_1 + \Sigma\Psi_{oi}Q_i$$

G_{max} ensemble des actions permanentes défavorables
G_{min} ensemble des actions permanentes favorables
Q_1 action variable dite de base
Q_i autres actions variables dites d'accompagnement (avec i > 1), ex. charges climatiques
Ψ_{oi} coefficient fixé par les textes en vigueur (annexe D)

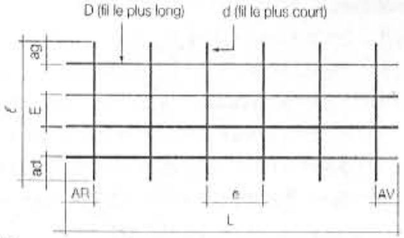
PROTECTION DES ARMATURES (A.7.)

L'enrobage des armatures est au moins égal à :

- **5 cm** pour les ouvrages à la mer, exposés aux embruns ou aux brouillards salins, ainsi que pour les ouvrages exposés à des atmosphères très agressives.
- **3 cm** pour les parois coffrées ou non qui sont soumises (ou susceptibles de l'être) à des actions agressives, à des intempéries, des condensations, au contact d'un liquide (suivant la destination des ouvrages),
- **1 cm** pour des parois qui seraient situées dans des locaux couverts et clos et qui ne seraient pas exposés aux condensations.

CARACTÉRISTIQUES DES TREILLIS SOUDÉS

Produits standards ADETS (Association technique pour le développement de l'emploi du treillis soudé).



TREILLIS DE PEAU

Désignation ADETS	Section S cm²/m	S s cm²/m	E e mm	D d mm	Abouts AV AR ad ag mm.mm	Nombre de fils N n	Longueur Largeur L ℓ m	Masse nominale kg/m²	Surface 1 rouleau ou 1 panneau m²	Masse 1 rouleau ou 1 panneau kg
R80R	0,80	0,80 0,53	200 300	4,5 4,5	100.150 100.100	12 167	50,00 2,40	1,042	120,00	125,10
P80R	0,80	0,80 0,53	200 300	4,5 4,5	150.150 100.100	12 12	3,60 2,40	1,042	8,64	9,00
R80C	0,80	0,80 0,80	200 200	4,5 4,5	100.100 100.100	12 200	40,00 2,40	1,250	96,00	120,00
P80C	0,80	0,80 0,80	200 200	4,5 4,5	100.100 100.100	12 18	3,60 2,40	1,250	8,64	10,80
P99V	0,99	0,80 0,99	200 160	4,5 4,5	135.25 100.100	12 16	3,20 2,40			9,60

TREILLIS DE STRUCTURE

Désignation ADETS	Section S cm²/m	S s cm²/m	E e mm	D d mm	Abouts AV AR ad ag mm.mm	Nombre de fils N n	Longueur Largeur L ℓ m	Masse nominale kg/m²	Surface 1 rouleau ou 1 panneau m²	Masse 1 rouleau ou 1 panneau kg
P131R	1,31	1,31 0,95	150 250	5 5,5	125.125 75.75	16 19	4,75 2,40	1,775	11,40	20,23
P188R	1,88	1,88 0.95	150 250	6 5,5	125.125 75.75	16 24	6,00 2,40	2,228	14,40	32,08
P221R	2,21	2,21 0,95	150 250	6,5 5,5	125.125 75.75	16 24	6,00 2,40	2,481	14,40	35,73
P283R	2,83	2,83 0,95	100 250	6 5,5	125.125 50.50	24 24	6,00 2,40	2,968	14,40	42,74
P385R	3,85	3,85 1,47	100 300	7 7,5	150.150 50.50	24 20	6,00 2,40	4,177	14,40	60,14
P503R	5,03	5,03 1,77	100 250	8 7,5	125.125 50.50	24 24	6,00 2,40	5,338	14,40	76,87
P636R	6,36	6,36 2,12	100 300	9 9	150.150 50.50	24 20	6,00 2,40	6,653	14,40	95,81
P221C	2,21	2,21 2,21	150 200	6,5 7,5	100.100 75.75	16 30	6,00 2,40	3,468	14,40	49,94
P385C	3,85	3,85 3,85	100 100	7 7	50.50 50.50	24 60	6,00 2,40	6,040	14,40	86,98
P636C	6,36	6,36 6,36	100 100	9 9	50.50 50.50	24 60	6,00 2,40	9,980	14,40	143,71

LIMITATION DE COMPRESSION DU BÉTON ET D'OUVERTURE DES FISSURES (A.4.5)

À l'état limite de service, la contrainte de compression du béton est limitée à 0,6 f_{cj}.
À l'état limite de service, pour limiter la fissuration, il convient de limiter la contrainte de traction des armatures.

- fissuration peu préjudiciable $f_{sser} = f_e$
- fissuration préjudiciable $f_{sser} = \min\,[2/3\,f_e\,;\,110\sqrt{\eta\,f_{tj}}]$
- fissuration très préjudiciable $f_{sser} = \min\,[0{,}5\,f_e\,;\,90\sqrt{\eta\,f_{tj}}]$

$\eta = 1$ ronds lisses et treillis soudés formés de fils lisses

$\eta = 1{,}6$ armatures à haute adhérence dont le diamètre est supérieur ou égal à 6 mm.

$\eta = 1{,}3$ armatures à haute adhérence dont le diamètre est inférieur à 6 mm.

• **Sections nominales des aciers (mm²)**

Diamètre en mm	Nombre de barres 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	28	56	85	113	141	169	198	226	254	283	311	339
8	50	100	151	201	251	302	352	402	452	503	553	603
10	78	157	235	314	392	471	550	628	707	785	864	942
12	113	226	339	452	565	678	791	905	1 018	1 131	1 244	1 357
14	154	308	462	616	770	924	1 078	1 231	1 385	1 539	1 693	1 847
16	201	402	603	804	1 005	1 206	1 407	1 608	1 809	2 011	2 212	2 413
20	314	628	942	1 257	1 570	1 884	2 189	2 513	2 827	3 141	3 455	3 769
25	491	982	1 473	1 963	2 454	2 945	3 426	3 927	4 418	4 909	5 399	5 890
32	804	1 608	2 413	3 217	4 021	4 825	5 630	6 434	7 238	8 042	8 847	9 651
40	1257	2 513	3 769	5 026	6 283	7 539	8 796	10 053	11 309	12 566	13 822	15 079

32.2 FONDATIONS SUPERFICIELLES

SEMELLE FILANTE SOUS MUR

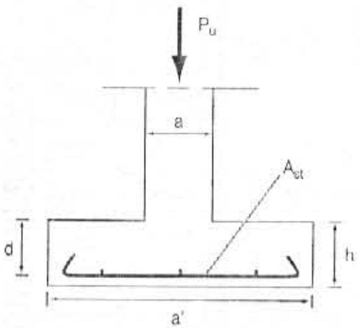
Soit q la contrainte de calcul du sol :

$q = q_u/2$ (DTU 13.12)

q_u : contrainte de rupture du sol

Soit P_u la charge de calcul par unité de longueur à l'ELU.

$$\frac{P_u \text{ (en N)}}{1\,000\,a' \text{ (en mm)}} \leq q \text{ — en MPa}$$



On a d tel que : $\dfrac{a'-a}{4} \leq d \leq a' - a$

Section d'aciers (A_{st}) par unité de longueur de semelle :

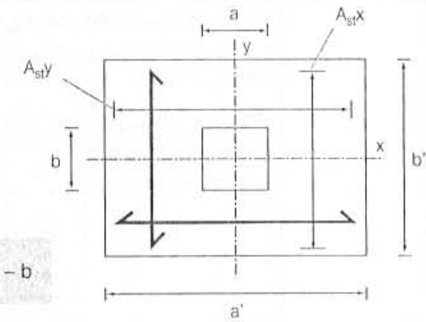
$$A_{st} \geq \frac{P_u\,(a'-a)}{8\,d\,f_e/\gamma_s}$$

La section des armatures de répartition est voisine du quart de la section des aciers principaux.

SEMELLE RECTANGULAIRE ISOLÉE SOUS POTEAU

Soit P_u la charge de calcul par unité de longueur à l'ELU.

$$\frac{P_u \text{ (en N)}}{a'.\,b' \text{ (en mm)}} \leq q \text{ — en Mpa}$$



$\dfrac{a'-a}{4} \leq d \leq a' - a$ et $\dfrac{b'-b}{4} \leq d \leq b' - b$

Sections d'aciers (A_{st}) par unité de longueur de semelle :

$$A_{stx} \geq \frac{P_u\,(a'-a)}{8\,d\,f_e/\gamma_s} \quad \text{et} \quad A_{sty} \geq \frac{P_u\,(b'-b)}{8\,d\,f_e/\gamma_s}$$

Les sections de la semelle et du poteau sont homothétiques : $\dfrac{a'}{a} = \dfrac{b'}{b}$

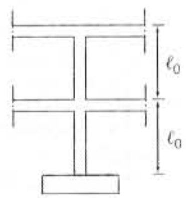
32.3 POTEAUX SOLLICITÉS EN COMPRESSION CENTRÉE

LONGUEUR DE FLAMBEMENT – ÉLANCEMENT (B.8.3.)

■ LONGUEUR DE FLAMBEMENT : l_f

La longueur de flambement est fonction de :
- la longueur libre ℓ_0 de la pièce,
- la liaison à chaque extrémité de la pièce.

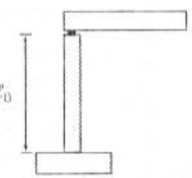
• **Bâtiments à étages multiples**



$l_f = 0{,}7\,\ell_0$ Si le poteau est à ses extrémités :
- soit encastré dans un massif de fondations,
- soit assemblé à des poutres de plancher ayant au moins la même raideur que lui dans le sens considéré et le traversant de part en part.

$l_f = \ell_0$ dans tous les autres cas.

• **Cas du poteau isolé**



$l_f = 2\,\ell_0$ Si le poteau est libre à une extrémité et encastré à l'autre.

$l_f = \ell_0$ Si le poteau est articulé aux 2 extrémités.

$l_f = \ell_0/\sqrt{2}$ Si le poteau est articulé à une extrémité et encastré à l'autre.

$l_f = \ell_0$ Si le poteau est encastré aux 2 extrémités dans le cas où ses 2 extrémités peuvent se déplacer l'une par rapport à l'autre suivant une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal du poteau et située dans le plan principal pour lequel on étudie le flambement.

$l_f = \ell_0/2$ Si le poteau est encastré aux deux extrémités dans le cas où ses 2 extrémités sont empêchées de se déplacer l'une par rapport à l'autre suivant une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal du poteau et située dans le plan principal pour lequel on étudie le flambement.

LONGUEUR DE FLAMBEMENT – ÉLANCEMENT (B.8.3.) (suite)

■ **ÉLANCEMENT : λ**

La déformation du poteau comprimé est liée à son élancement λ :

$$\lambda = \frac{l_f}{i} \qquad i = \sqrt{\frac{I}{B}}$$

- l_f : longueur de flambement (en m)
- λ : élancement (sans unité)
- i : rayon de giration de la section calculé dans le plan de flambement (en m)
- I : moment quadratique de la section dans le plan de flambement (m^4)
- B : aire de la section (m^2)

JUSTIFICATIONS VIS-À-VIS DE L'ELU (B.8.4.)

L'effort normal agissant N_u d'un poteau doit être au plus égal à la valeur suivante :

$$N_u \leq \alpha \left(\frac{Br\, f_{c28}}{0{,}9\, \gamma_b} + A_{sc} \frac{f_e}{\gamma_s} \right)$$

- A_{sc} section d'acier comprimé prise en compte dans le calcul (mm^2)
- Br section réduite du poteau obtenue en déduisant de sa section réelle un centimètre d'épaisseur sur toute sa périphérie (mm^2)
- f_e limite d'élasticité de l'acier (MPa)
- N_u effort normal (N)

$\gamma_b = 1{,}5 \qquad \gamma_s = 1{,}15$

α coefficient fonction de l'élancement λ, qui prend les valeurs :

$$\alpha = \frac{0{,}85}{1 + 0{,}2\,(\lambda/35)^2} \quad \text{pour } \lambda \leq 50$$

$$\alpha = 0{,}60\,(50/\lambda)^2 \quad \text{pour } 50 < \lambda \leq 70$$

ARMATURES LONGITUDINALES ET TRANSVERSALES (A..8.1.)

■ **ARMATURES LONGITUDINALES**

La section d'armatures longitudinales est au moins égale à 4 cm^2 par mètre de longueur de paroi mesurée perpendiculairement à la direction de ces armatures.

D'autre part, la section d'armatures longitudinales est au moins égale à 0,2 % de la section totale de béton comprimé, sans pouvoir dépasser 5 % en dehors des zones de recouvrement des barres.

Dans une pièce de section rectangulaire, la distance maximale de deux armatures voisines sur une même face est au plus égale :
- à la longueur du petit côté du rectangle augmenté de 10 cm,
- 40 cm.

■ **ARMATURES TRANSVERSALES**

Le diamètre des armatures transversales est au moins égal à la valeur normalisée la plus proche du tiers (1/3) du diamètre des armatures longitudinales qu'elles maintiennent.

Leur espacement est au plus égal à :
- 15 fois le diamètre des barres longitudinales prises en compte dans le calcul,
- 40 cm,
- la plus petite dimension de la pièce (mesurée sur la section) augmentée de 10 cm.

Dans les zones où la proportion des armatures longitudinales présentant des jonctions par recouvrement est supérieure à un demi, le nombre des cours d'armatures transversales disposés sur le recouvrement de deux barres longitudinales est au moins égal à trois.

JUSTIFICATIONS VIS-À-VIS DE L'ELS (A.4.5.)

La contrainte de compression du béton est limitée à 0,6 f_{cj}.

$$\sigma_{bc} = \frac{N_{ser}}{Br + 15\, A_{sc}} \qquad \sigma_{bc} \leq 0{,}6\, f_{cj}$$

- σ_{bc} : contrainte de compression du béton (en MPa)
- N_{ser} : effort normal agissant à l'état limite de service (en N)
- Br : section réduite du poteau (en mm^2)
- A_{sc} : section d'acier comprimé prise en compte dans le calcul (en mm^2)

32.4 TIRANTS SOLLICITÉS EN TRACTION CENTRÉE

JUSTIFICATIONS VIS-À-VIS DE L'ELU

L'effort normal agissant ultime N_u d'un tirant doit être au plus égal à la valeur suivante :

$$N_u \leq A_{st} \frac{f_e}{\gamma_s}$$

- A_{st} section d'acier tendu prise en compte dans le calcul (mm^2)
- f_e limite d'élasticité de l'acier (Mpa)
- N_u effort normal (N) : $\gamma_s = 1{,}15$

JUSTIFICATIONS VIS-À-VIS DE L'ELS

L'effort normal agissant de service Nser d'un tirant doit être au plus égal à la valeur suivante :

$$N_{ser} \leq A_{st}\, f_{sser}$$

- A_{st} section d'acier tendu prise en compte dans le calcul (mm^2)
- N_{ser} effort normal (N)
- f_{sser} contrainte limite de traction des armatures en fonction des conditions de fissuration

CONDITION DE NON-FRAGILITÉ (A.4.2.)

Dans le cas de pièces soumises à la traction simple, la condition de non-fragilité s'exprime par la condition suivante :

$$\rho \geq \frac{f_{tj}}{f_e}$$

ρ rapport de la section des armatures de limite d'élasticité fe à celle du béton : $\rho = A_{st}/B$.

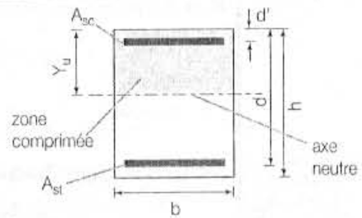
32.5 POUTRES SOLLICITÉES EN FLEXION SIMPLE

DIMENSIONNEMENT À L'ELU

Dimensionnement prépondérant dans le cas de fissuration peu préjudiciable.

Soit α, paramètre caractéristique de l'état de déformation de la section.

$$\alpha = \frac{Y_u}{d} = \frac{\varepsilon_{bc}}{\varepsilon_{bc} + \varepsilon_{st}}$$



■ **HYPOTHÈSE SUR LE COMPORTEMENT DU BÉTON (A.4.3.4.)**

La résistance en traction du béton est négligée.

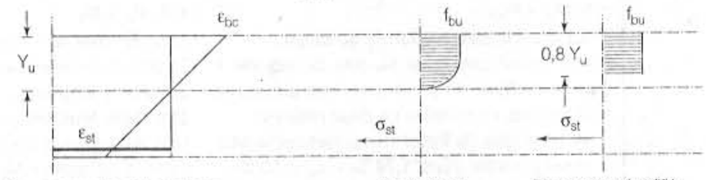


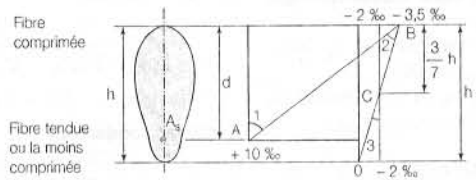
Diagramme des déformations — Contraintes — Diagramme simplifié

f_{bu} valeur limite de la contrainte de compression du béton.

Le diagramme parabole-rectangle et le diagramme simplifié ont même surface et même centre de gravité.

■ **DIAGRAMMES DES DÉFORMATIONS LIMITES DE LA SECTION**

Les diagrammes possibles résultent des déformations limites fixées pour les matériaux, d'où les trois domaines de la figure ci-dessous, définis à partir des pivots A, B et C.



Domaine 1 – pivot A
conditionné par l'allongement de l'acier

Domaine 2 – pivot B
conditionné par le raccourcissement du béton

Domaine 3 – pivot C
section entièrement comprimée

DIMENSIONNEMENT À L'ELU (suite)

■ DÉTERMINATION DES ARMATURES LONGITUDINALES

• Moment ultime de référence : M_{ab}

Correspondant à la droite des pivots A et B :

$$M_{ab} = 0{,}186 b\, d^2 f_{bu}$$

$$\mu_{ab} = \frac{M_{ab}}{b\, d^2 f_{bu}} = 0{,}186$$

$$\alpha_{ab} = 1{,}25\,(1 - \sqrt{1 - 2\,\mu_{ab}}\,) = 0{,}259$$

- M_{ab} moment ultime de référence (N.mm)
- b largeur de la poutre (mm)
- d distance du centre de gravité des aciers tendus à la fibre extrême comprimée (mm)
- f_{bu} valeur limite de la contrainte de compression du béton (MPa) : $f_{bu} = 0{,}85\, f_{cj}/\theta\gamma_b$
- μ et α coefficients sans unité caractéristiques de la déformation de la section.

Soit M_u, le moment ultime sollicitant la section.

Données : – b, d et d', caractéristiques de la section de béton
– f_{bu}, caractéristique du béton utilisé
– f_e, limite élastique de l'acier utilisé

• Si $M_u \leq M_{ab}$

Pivot A : pas d'armatures comprimées

$$\mu_u = \frac{M_u}{b\, d^2 f_{bu}} \quad ; \quad \alpha_u = 1{,}25\,(1 - \sqrt{1 - 2\,\mu_u}\,)$$

bras de levier :

$$Z = d(1 - 0{,}4\alpha_u)$$

Section d'armatures tendues :

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z\, f_e/\gamma_s}$$

• Si $M_u > M_{ab}$

Pivot B : utilisation maximale du béton.

Il faut définir une limite au-delà de laquelle il sera nécessaire de positionner des armatures comprimées en fonction de deux critères :
- avoir un taux de travail des armatures le plus élevé possible, donc 1,74 ‰ < ε_{st} < 10 ‰.
- avoir une contrainte de compression du béton inférieure à 0,6 f_{c28}.

On peut déterminer cette limite en fonction du rapport M_u/M_{ser}. Dans ce cas, des abaques établis pour chaque forme de section permettent de déterminer les armatures.

On peut déterminer, de façon moins précise mais convenable, une limite unique quel que soit le rapport M_u/M_{ser}.

On peut choisir pour limite unique $\alpha_L = 0{,}4$ donc $\varepsilon_{st} = 5{,}25$ ‰ et $\mu_L = 0{,}269$.

Soit un moment limite M_L au-delà duquel on positionnera des armatures comprimées.

$$M_L = 0{,}269\, b\, d^2 f_{bu}$$

• Si $M_{ab} < M_u \leq M_L$

Pivot B : pas d'armatures comprimées

$$\mu_u = \frac{M_u}{b\, d^2 f_{bu}} \quad ; \quad \alpha_u = 1{,}25\,(1 - \sqrt{1 - 2\,\mu_u}\,)$$

bras de levier :

$$Z = d(1 - 0{,}4\alpha_u)$$

Section d'armatures tendues :

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z\, f_e/\gamma_s}$$

• Si $M_u > M_L$

Pivot B : avec armatures comprimées

La part du moment de flexion équilibrée par les armatures longitudinales de compression doit être dans tous les cas inférieure à 40 % du moment agissant ultime (B.6.6.1.).

Donc, si on limite à M_L, le moment ultime équilibré par la section de béton sans armatures comprimées, on devra avoir :

$$M_u - M_L < 40\,\%\, M_u \rightarrow 0{,}6\, M_u < M_L$$

Si cette condition n'est pas vérifiée, il faudra augmenter les dimensions de la section de béton.

Armatures tendues

$$A_{st} = \frac{M_L}{Z\, f_e/\gamma_s} + \frac{M_u - M_L}{(d - d')\, f_e/\gamma_s}$$

avec $\alpha = 0{,}4 \rightarrow Z = 0{,}84d$

Armatures comprimées

$$A_{sc} = \frac{M_u - M_L}{(d - d')\, f_e/\gamma_s}$$

DIMENSIONNEMENT À L'ELS

Dimensionnement prépondérant dans le cas de fissuration très préjudiciable et préjudiciable.

Soit M_{ser}, le moment de service sollicitant la section.

Données :
- b, d et d', caractéristiques de la section de béton
- f_{bser} : contrainte admissible de compression du béton : $f_{bser} = 0{,}6\, f_{c28}$
- f_{sser} : contrainte admissible de traction de l'acier (fonction des conditions de fissuration)

Moment résistant du béton : M_{rb}

C'est le moment de service maximum que peut équilibrer une section sans lui adjoindre des armatures comprimées.

$$M_{rb} = \frac{1}{2}\, b\, d^2 f_{bser}\, \alpha \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)$$

$$\alpha = \frac{n\, f_{bser}}{n\, f_{bser} + f_{sser}} \quad ; \quad n = \frac{E_s}{E_b} = 15$$

• Si $M_{ser} \leq M_{rb}$: pas d'armatures comprimées

Section d'armatures tendues

$$Z = d\,(1 - \frac{\alpha}{3}) \quad \rightarrow \quad A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z\, f_{sser}}$$

• Si $M_{ser} > M_{rb}$: avec armatures comprimées

Armatures tendues :

$$A_{st} = \frac{M_{rb}}{Z\, f_{sser}} + \frac{M_{ser} - M_{rb}}{(d - d')\, f_{sser}}$$

$$Z = d\left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)$$

Armatures comprimées :

$$A_{sc} = \frac{M_{ser} - M_{rb}}{(d - d')\, \sigma_{sc}}$$

avec

$$\sigma_{sc} = n\, f_{bser}\left(\frac{y_1 - d'}{y_1}\right) \quad \text{et} \quad y_1 = \alpha d$$

VÉRIFICATIONS À L'ELS

Vérification des contraintes d'une section rectangulaire dimensionnée à l'ELU.
- position de la fibre neutre y_1, racine de l'équation du second degré suivante :

$$\frac{b}{2}\, y_1^2 + nA_{sc}(y_1 - d') - nA_{st}(d - y_1) = 0$$

- moment quadratique de la section : I_1

$$I_1 = \frac{b}{3}\, y_1^3 + nA_{sc}(y_1 - d')^2 + nA_{st}(d - y_1)^2 = 0$$

Il faut vérifier :

Contrainte dans les armatures tendues :

$$\sigma_{st} = \frac{n\, M_{ser}}{I_1}\,(d - y_1) \leq f_{sser}$$

Contrainte dans le béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_1}\, y_1 \leq 0{,}6\, f_{c28}$$

VÉRIFICATIONS À L'ELU

Vérifications à effectuer si le dimensionnement a été fait à l'ELS :
- position de la fibre neutre : y_u

$$y_u = \frac{f_e}{\gamma_s\, 0{,}8\, b\, f_{bu}}\,(A_{st} - A_{sc})$$

- moment résistant de la section : M_{ru}

$$M_{ru} = 0{,}8\, b\, y_u\, f_{bu}(d - 0{,}4y_u) + A_{sc}\,\frac{f_e}{\gamma_s}\,(d - d')$$

Si $M_{ru} < M_u$, il faut redimensionner la section.

JUSTIFICATIONS VIS-À-VIS DES SOLLICITATIONS TANGENTES (ELU)

■ VÉRIFICATION D'UNE SECTION COURANTE (A.5.1.2.)

Les justifications de l'âme d'une poutre sont conduites à partir de la contrainte tangente τ_u prise conventionnellement égale à :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_o\, d} \quad \text{(MPa)}$$

- V_u effort tranchant à l'état limite ultime (N)
- b_o largeur de l'âme (mm)
- d hauteur utile de la poutre (mm)

Dans le cas où les armatures d'âme sont perpendiculaires à la fibre moyenne, la contrainte τ_u doit être au plus égale à la plus basse des deux valeurs : $\frac{0{,}2\, f_{cj}}{\gamma_b}$ et 5 MPa

Lorsque la fissuration est jugée préjudiciable ou très préjudiciable, les contraintes ci-dessus sont remplacées par les valeurs : $\frac{0{,}15\, f_{cj}}{\gamma_b}$ et 4 MPa

JUSTIFICATIONS VIS-À-VIS DES SOLLICITATIONS TANGENTES (ELU) (suite)

APPUI SIMPLE D'ABOUT (A.5.1.3.)

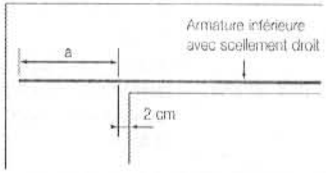
On doit prolonger au-delà du bord de l'appui et y ancrer une section d'armatures longitudinales inférieures suffisante pour équilibrer l'effort tranchant V_u.

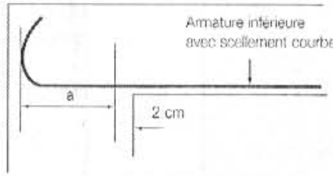
Cette section d'armatures est au moins égale à :

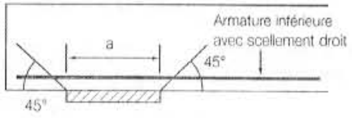
$$A_{st} = \frac{\gamma_s V_u}{f_e}$$

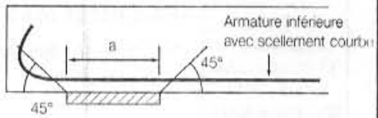
Dans le cas de poutre à nervure rectangulaire, d'épaisseur b_0 avant l'appui (côté travée), on doit vérifier la condition suivante :

$$\frac{2 V_u}{b_0 a} \leq 0{,}8 \frac{f_{cj}}{\gamma_b}$$









APPUI INTERMÉDIAIRE (A.5.1.3.)

Lorsque la valeur absolue du moment fléchissant de calcul M_u est inférieure à $0{,}9\ V_u\ d$, on doit prolonger au-delà du bord de l'appareil d'appui (côté travée) et y ancrer une section d'armatures suffisante pour équilibrer un effort égal à :

$$V_u + \frac{M_u}{0{,}9\ d}$$

Donc la section d'armatures longitudinales minimale sur l'appui :

$$\left(V_u + \frac{M_u}{0{,}9\ d}\right) \Big/ \frac{f_e}{\gamma_s}$$

ARMATURES TRANSVERSALES (A.5.1.2.)

Soit A_t la section d'un cours d'armatures d'âme de diamètre ϕ_t.

On doit choisir ϕ_t tel que :

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35}\ ;\ \phi_l\ ;\ \frac{b_0}{10}\right) \qquad \text{(A.7.2.2.)}$$

ϕ_l diamètre des armatures longitudinales

h hauteur totale de la poutre

b_0 largeur de la poutre

La justification des armatures s'exprime par la relation :

$$\frac{A_t}{b_0\ s_t} \geq \frac{\gamma_s\ (\tau_u - 0{,}3\ f_{tj}\ k)}{0{,}9\ f_e\ (\cos\alpha + \sin\alpha)}$$

s_t espacement des cours successifs d'armatures transversales

f_{tj} résistance caractéristique à la traction de l'acier

τ_u contrainte tangente ($V_u/b_0\ d$)

k = 1 en flexion simple sauf en cas de reprise de bétonnage n'ayant pas reçu de traitement particulier ou de fissuration très préjudiciable, ou alors k = 0.

α angle entre un cours d'armatures transversales et l'axe longitudinal de la poutre (en général, $\cos\alpha + \sin\alpha = 1$).

JUSTIFICATIONS VIS-À-VIS DES SOLLICITATIONS TANGENTES (ELU) (suite)

• **Espacement minimal des cours successifs d'armatures transversales**

$$s_t \leq \min\ (0{,}9\ d\ ;\ 40\ \text{cm}) \qquad \text{et} \qquad \frac{A_t\ f_e}{b_0\ s_t} \geq 0{,}4\ \text{MPa}$$

d hauteur utile la poutre

f_e limite élastique de l'acier transversal

• **Répartition des armatures transversales**

La répartition des cours d'armatures transversales doit satisfaire aux conditions ci-dessus tout au long de la poutre pour les différentes valeurs de l'effort tranchant V_u. On obtient la répartition par des calculs successifs pour les différentes valeurs de V_u.

Toutefois, pour des poutres de section constante, soumises à des charges uniformément réparties et modérées, on peut utiliser la méthode de répartition forfaitaire des espacements de Caquot :

- on calcule le premier espacement st à l'appui,
- on positionne le premier cours d'armatures transversales à une distance $s_t/2$ de l'appui,
- après l'espacement calculé s_t, on peut choisir les espacements suivants dans la suite de nombre : 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 20, 25, 35,
- on répète autant de fois les espacements qu'il y a de mètres dans la demi-portée.

Exemple.

Soit une poutre sur 2 appuis de 4,20 m de portée uniformément chargée.

À l'appui, on calcule s_t = 10 cm.

Répartition des cadres :

5, 2 × 10, 2 × 11, 2 × 13, 2 × 16,
2 × 20, 2 × 25, X.

La répartition est symétrique par rapport au centre de la poutre.

DISPOSITIONS PARTICULIÈRES AUX POUTRES

ARMATURES « DE PEAU » (A.8.3.)

Des armatures « de peau » sont réparties et disposées parallèlement à la fibre moyenne des poutres de grande hauteur.

Leur section est d'au moins 3 cm^2 par mètre de paroi mesurée perpendiculairement à leur direction (4 HA 10/m).

Dans le cas où la fissuration est considérée comme très préjudiciable, leur section est d'au moins 5 cm^2 par mètre de paroi mesurée perpendiculairement à leur direction (5 HA 12/m).

CONDITION DE NON-FRAGILITÉ (B.6.4.)

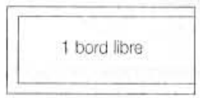
Dans toute poutre comportant une zone tendue, qu'elle soit soumise à la flexion simple ou composée, les armatures longitudinales de traction doivent présenter une section au moins égale à 0,001 de la section droite de la poutre.

32.6 SOLLICITATIONS DES DALLES ET ARMATURES MINIMALES

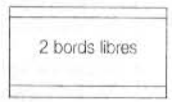
DALLES APPUYÉES SUR 2 CÔTÉS

Sont considérées comme dalles appuyées sur 2 côtés :

- les dalles rectangulaires appuyées sur 2 côtés parallèles et comportant un ou deux bords libres



- les dalles rectangulaires appuyées sur 4 côtés mais dont le rapport l_x/l_y est inférieur à 0,4 ($l_x < l_y$)



• **Procédé de calcul approché (A.8.2.3.1.)**

Si elles ne sont soumises qu'à des charges réparties, les dalles répondant aux exigences ci-dessus peuvent être calculées à la flexion comme des poutres dans le sens de la petite portée.

On doit tenir compte cependant de ce que les moments d'encastrement sur les petits côtés atteignent des valeurs du même ordre que sur les grands côtés pour les dalles appuyées sur 4 côtés (l_x/l_y < 0,4).

DALLES APPUYÉES SUR 4 COTÉS ET ARTICULÉES SUR LEUR CONTOUR

Les dalles sont considérées articulées sur leur contour si leurs appuis sont des murs en maçonnerie. Elles sont considérées partiellement ou totalement encastrées si leurs appuis sont des voiles en béton armé ou des poutres. Sont considérées comme dalles appuyées sur 4 côtés les dalles dont le rapport l_x/l_y est compris entre 0,4 et 1 ($l_x < l_y$).

Ces dalles sont considérées comme portant dans 2 sens perpendiculaires.
Les règles qui suivent s'appliquent aux dalles uniformément chargées.
Dans le cas de charges concentrées, les valeurs des moments fléchissants sont données par les abaques de Pigeaud.

• **Moment fléchissants**

Soit l_x et l_y les dimensions, mesurées entre nus des appuis, d'une dalle rectangulaire et p la charge uniformément répartie par unité d'aire et couvrant entièrement la dalle.
Les moments fléchissants développés au centre de la dalle ont pour expression :

• dans le sens de la petite portée l_x :

$$M_x = \mu_x \, p \, l_x^2$$

• dans le sens de la grande portée l_y :

$$M_y = \mu_y M_x$$

Les valeurs des coefficients μ_x et μ_y sont données en fonction du rapport $\alpha = l_x/l_y$
Le coefficient de Poisson υ est pris égal à 0 pour le calcul des sollicitations.
Les valeurs de μ_y inférieures à 0,25 (correspondant à α = 0,557) ne sont pas à prendre en considération.

$\alpha = \frac{l_x}{l_y}$	$\upsilon = 0$	
	$\mu_x = \frac{M_x}{p l_x^2}$	$\mu_y = \frac{M_y}{M_x}$
0,40	0,110	
0,45	0,102	
0,50	0,095	
0,55	0,088	
0,60	0,081	0,305
0,65	0,0745	0,369
0,70	0,068	0,436
0,75	0,062	0,509
0,80	0,056	0,595
0,85	0,051	0,685
0,90	0,046	0,778
0,95	0,041	0,887
1,00	0,037	1,000

DALLES RECTANGULAIRES ENCASTRÉES (A.8.2.3.2.)

Les dalles rectangulaires encastrées (partiellement ou totalement) peuvent être calculées à la flexion sur la base des efforts qui s'y développeraient si elles étaient articulées sur leur contour (quel que soit le rapport des portées et la nature des charges).
Les moments de flexion maximaux calculés dans l'hypothèse de l'articulation peuvent être réduits de 15 à 25 % selon les conditions d'encastrement. Les moments d'encastrement sur les grands côtés sont évalués respectivement au moins à 40 % et 50 % des moments fléchissants maximaux évalués dans l'hypothèse de l'articulation.

On doit cependant tenir compte de ce que les moments sur les petits côtés atteignent des valeurs du même ordre que sur les grands côtés.

$$M_t x \geq 0{,}75 \text{ à } 0{,}85\, M_o x$$

et $$M_t y \geq 0{,}75 \text{ à } 0{,}85\, M_o y$$

Moment sur appuis
dans les 2 sens $\geq$ 0,4 à 0,5 $M_o x$

Lorsqu'il s'agit de la portée principale, les valeurs retenues pour les moments fléchissants doivent vérifier l'inégalité :

$$M_t + \frac{M_w + M_e}{2} \geq 1{,}25\, M_o$$

- M_t : moment maximal considéré en travée
- M_w, M_e : valeurs absolues des moments sur appuis (de gauche et de droite)
- M_o : moment maximal calculé dans l'hypothèse de l'articulation

ARMATURES DES DALLES ET PRINCIPALES DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES

■ **DIAMÈTRE MAXIMAL DES ARMATURES D'UNE DALLE (A.7.2.1.)**

$\phi \leq h/10$ h : hauteur de la dalle

■ **SECTIONS D'ARMATURES DANS LES DEUX DIRECTIONS (A.8.2.4.1.)**

A_x section d'armatures dans la direction la plus sollicitée

A_y section d'armatures dans la direction perpendiculaire

- charges comprenant des efforts concentrés :

$$A_y \geq 1/3\, A_x$$

- pas de charges comprenant des efforts concentrés :

$$A_y \geq 1/4\, A_x$$

■ **ÉCARTEMENT DES ARMATURES D'UNE MÊME NAPPE (A.8.2.4.1.)**

L'écartement des armatures d'une même nappe ne doit pas dépasser les valeurs du tableau ci-dessous :

Directions	Charges réparties seulement	Charges concentrées
Direction la plus sollicitée	3 *h* et 33 cm	2 *h* et 25 cm
Direction perpendiculaire à la plus sollicitée	4 *h* et 45 cm	3 *h* et 33 cm

■ **CONDITIONS DE NON-FRAGILITÉ ET SECTIONS MINIMALES D'ARMATURES (B.7.4.)**

Soit ρ_o, le taux des armatures (rapport du volume des aciers à celui du béton), pris égal à :

- 0,0012 s'il s'agit de ronds lisses (Fe E215 ou Fe E235).
- 0,0008 s'il s'agit de barres ou fils à haute adhérence de classe Fe E400 ou de treillis soudés à fils lisses de diamètre supérieur à 6 mm.
- 0,0006 s'il s'agit de barres ou fils à haute adhérence de classe Fe E500 ou de treillis soudés à fils lisses de diamètre au plus égal à 6 mm.

Les taux minimaux d'acier ρ_x et ρ_y doivent satisfaire les inégalités suivantes :

$$\rho_x \geq \rho_o \frac{3 - (l_x/l_y)}{2} \quad \text{et} \quad \rho_y \geq \rho_o$$

l_x et l_y dimensions de la dalle ($l_x < l_y$)

ρ_x et ρ_y taux minimaux d'acier dans les deux directions.

$$\rho_x = A_{stx}/bh \quad \text{et} \quad \rho_y = A_{sty}/bh$$

■ **ARMATURES SUR LES APPUIS DE RIVES (A.8.2.4.3.)**

Les aciers armant à la flexion la région centrale d'une dalle sont prolongés jusqu'aux appuis :
- dans leur totalité, si la dalle est soumise à des charges concentrées mobiles ;
- à raison d'un sur deux au moins dans le cas contraire.

Sur les parties du contour d'appui où pour-

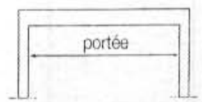
32.7 COMBINAISONS D'ACTIONS DES PLANCHERS ET POUTRES

PORTÉES À PRENDRE EN COMPTE

La portée à prendre en compte dans les calculs est mesurée entre points d'application des résultantes des réactions d'appui dans les cas suivants :
- poutres munies d'appareils d'appui (exemple : appuis néoprène),
- poutres reposant sur des massifs ou des murs en maçonnerie.

Dans les autres cas, et notamment dans celui très fréquent où les éléments de planchers reposent sur des appuis en béton (poutres, poteaux ou voiles), la portée à prendre en compte dans les calculs est mesurée entre nus des appuis.





COMBINAISONS D'ACTIONS ET CAS DE CHARGE

■ **PLANCHERS SOUMIS UNIQUEMENT AUX ACTIONS DES CHARGES PERMANENTES ET D'EXPLOITATION**

Les seules combinaisons à considérer vis-à-vis de l'ELU sont :

combinaisons	travées chargées	travées déchargées
1	$1{,}35\,G + 1{,}5\,Q_B$	$1{,}35\,G$
2	$G + 1{,}5\,Q_B$	G

Dans le cas d'une poutre sur 2 appuis simples prolongée par un porte-à-faux, les différents cas de charge à considérer sont les suivants :

	combinaison sur le porte-à-faux	combinaison sur la travée
cas 1	$1{,}35\,G + 1{,}5\,Q_B$	$1{,}35\,G$
cas 2	$1{,}35\,G$	$1{,}35\,G + 1{,}5\,Q_B$
cas 3	$1{,}35\,G + 1{,}5\,Q_B$	$1{,}35\,G + 1{,}5\,Q_B$
cas 4	$G + 1{,}5\,Q_B$	G
cas 5	G	$G + 1{,}5\,Q_B$

■ **PLANCHERS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE SOUMIS AUX ACTIONS DES CHARGES PERMANENTES, DES CHARGES D'EXPLOITATION ET DU VENT**

Les combinaisons à considérer sont les suivantes :

combinaisons	travées chargées	travées déchargées
1	$1{,}35\,G + 1{,}5\,Q_B$	$1{,}35\,G$
2	$1{,}35\,G$	G
3	$1{,}35\,G + 1{,}5\,Q_B + W$	$1{,}35\,G + W$
4	$G + 1{,}5\,Q_B + W$	$G + W$
5	$1{,}35\,G + 1{,}5\,W + 1{,}3\,\psi_0\,Q_B$	$1{,}35\,G + 1{,}5\,W$
6	$G + 1{,}5\,W + 1{,}3\,\psi_0\,Q_B$	$G + 1{,}5\,W$

$\psi_0 = 0{,}77$ pour tous les locaux à l'exception des archives et des parcs de stationnement pour lesquels sa valeur est de 0,9.

Pour les planchers susceptibles d'être soumis à l'action de la neige, les combinaisons à considérer sont celles ci-dessus en remplaçant W par S_n.

32.8 MÉTHODES SIMPLIFIÉES DE CALCUL DES PLANCHERS

MÉTHODE FORFAITAIRE

■ **DOMAINE D'APPLICATION (B.6.2.2.1.)**

La méthode forfaitaire s'applique aux poutres, poutrelles et dalles supportant des charges d'exploitation modérées ($Q \leq 2G$ ou $Q < 5\,000$ N/m²).

Cette méthode ne s'applique qu'à des éléments fléchis (poutres ou dalles calculées en flexion dans un seul sens) remplissant les conditions suivantes :

- les moments d'inertie des sections transversales sont les mêmes dans les différentes travées en continuité,
- les portées successives sont dans un rapport compris entre 0,8 et 1,25,
- la fissuration ne compromet pas la tenue du béton armé ni celle de ses revêtements.

Dans le cas où l'une de ces trois conditions complémentaires n'est pas satisfaite, on peut appliquer la méthode de calcul des planchers à charge d'exploitation relativement élevée (méthode de A. Caquot).

■ **CALCUL DES SOLLICITATIONS (Annexe E1)**

Soit :

- M_o la valeur maximale du moment fléchissant dans la « travée de comparaison », c'est-à-dire dans la travée indépendante de même portée libre que la travée considérée et soumise aux mêmes charges ;
- M_w et M_e respectivement les valeurs absolues des moments sur appuis de gauche et de droite et M_t le montant maximal en travée qui sont pris en compte dans les calculs de la travée considérée ;
- α le rapport des charges d'exploitation à la somme des charges permanentes et des charges d'exploitation.

$$\alpha = \frac{Q}{G+Q}$$

MÉTHODE FORFAITAIRE (suite)

• **Conditions à respecter**

$$M_t + \frac{M_w + M_e}{2} \geq \text{Sup}\,[(1 + 0{,}3\alpha)M_o\,;\,1{,}05\,M_o]$$

Travée de rive

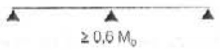
$$M_t \geq \left(\frac{1{,}2 + 0{,}3\alpha}{2}\right) M_o$$

Travée intermédiaire

$$M_t \geq \left(\frac{1 + 0{,}3\alpha}{2}\right) M_o$$

• **Valeur absolue du moment sur appui**

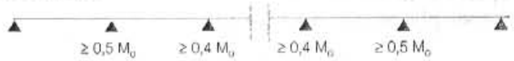
- poutres à 2 travées



- poutres à 3 travées



- poutres à plus de 3 travées



Pour chaque appui intermédiaire, on retient la plus grande des valeurs absolues des moments fléchissants de référence (M_o) calculés à droite et à gauche de l'appui considéré.

• **Évaluation forfaitaire de l'effort tranchant (B.6.2.1.1.)**

Dans la transmission des charges des poutres aux poteaux, on peut admettre la discontinuité des différents éléments, exception faite :

- des travées de rive des poutres où, sur le premier appui intermédiaire, il est tenu compte de la solidarité, soit en prenant en compte les moments de continuité adoptés, soit forfaitairement en majorant les réactions correspondant aux travées indépendantes de 15 % s'il s'agit de poutres à 2 travées et de 10 % s'il s'agit de poutres à plus de 2 travées,
- des travées de rive prolongées par une console où l'on tient compte de l'effet de console.

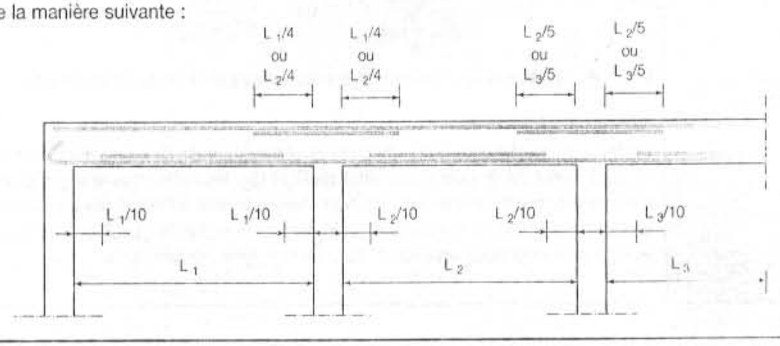
■ **LONGUEUR DES CHAPEAUX ET ARRÊT DES BARRES LONGITUDINALES**

Dans le cas général, on applique les règles données à l'article B.6.2.3.1 du BAEL 91 dites « courbes enveloppes ».

La méthode forfaitaire d'arrêt des barres, plus rapide, peut être appliquée si les conditions suivantes sont remplies :

- $Q < G$,
- charges uniformément réparties uniquement.

Dans le cas où ces 2 conditions sont remplies, on peut effectuer l'arrêt des barres longitudinales de la manière suivante :



MÉTHODE DE CAQUOT

DOMAINE D'APPLICATION (B.6.2.2.2.)

La méthode de Caquot s'applique aux poutres, poutrelles et dalles supportant des charges d'exploitation élevées

$$Q > 2G$$

ou

$$Q > 5\,000 \text{ N/m}^2$$

quel que soit le rapport des portées et quelles que soient les conditions de fissuration.

• Principe de la méthode

La méthode consiste à calculer les moments sur appuis à partir du chargement des travées adjacentes. Il faut étudier les différents cas de charges donnant les moments et les efforts tranchants maximaux.

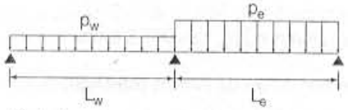
La méthode est une méthode de continuité simplifiée qui apporte à la méthode de continuité théorique des corrections pour tenir compte de l'amortissement des effets des changements des travées successives.

CALCUL DES SOLLICITATIONS (Annexe E2)

• Détermination des moments sur appuis

On détache, de chaque côté des appuis, des travées fictives de longueur L'_w à gauche et L'_e à droite égale à :
- travée de rive : $L' = L$
- travée intermédiaire : $L' = 0,81\ L$

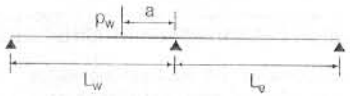
Charge répartie



Une charge répartie par unité de longueur p_w sur la travée de gauche et p_e sur la travée de droite donne un moment d'appui égal en valeur absolue à :

$$\frac{p_w L'^3_w + p_e L'^3_e}{8,5\,(L'_w + L'_e)}$$

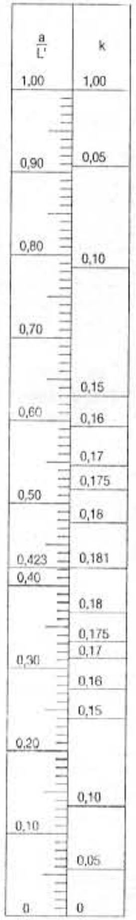
Charge concentrée



Une charge concentrée p_w sur la travée de gauche et p_e sur la travée de droite à la distance a du nu de l'appui donne un moment d'appui égal en valeur absolue à :

$$\frac{k\,p_w L'^2_w}{(L'_w + L'_e)} \quad \text{ou} \quad \frac{k\,p_e L'^2_e}{(L'_w + L'_e)}$$

L'échelle fonctionnelle ci-contre donne les valeurs de k en fonction de a/L'.



• Moments en travée

On trace la courbe des moments de la travée indépendante de portée L (et non L') sous l'effet de G, puis sous l'effet de G et Q_B, les différentes charges étant affectées du coefficient de pondération correspondant à l'état limite considéré. Les efforts tranchants d'appui sont calculés par la méthode générale applicable aux poutres continues en faisant état des moments de continuité.

33 RÈGLES DE CALCUL (liste)

Domaine	Dénomination	Dénomination abrégée
Béton armé	Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé, suivant la méthode des états limites	Règles BAEL 91
Béton précontraint	Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint, suivant la méthode des états limites	Règles BPEL 91
Charpente en bois	Règles de calcul des charpentes en bois et modificatifs 1975	Règles CB 71
Constructions métalliques	Règles de calcul des constructions en acier et Additif 80	Règles CM 66
Séismes	Règles parasismiques 1969 et annexes 1982 Constructions parasismiques des maisons individuelles et des bâtiments assimilés. Dispositions constructives	Règles PS 69 Règles PS-MI 89
Thermique	Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois Règles de calcul des déperditions de base des bâtiments Règles de calcul du coefficient GV des bâtiments d'habitation Règles de calcul du coefficient des besoins de chauffage des logements Règles de calcul du coefficient de performance thermique globale des logements	Règles Th-K-77 Règles Th-D Règles Th-G Règles Th-BV Règles Th-C
Charges de neige	Action de la neige sur les constructions	Règles N 84 modifiées 95
Charges de neige et vent	Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions	Règles NV 65
Feu	Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en acier Méthode de justification par le calcul de la résistance au feu des structures en bois Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des poteaux mixtes (acier + béton)	Règles FB Règles FA Règles Bois Feu 88 Règles FPM 88
Aluminium	Règles de conception et de calcul des charpentes en alliage d'aluminium	Règles Al
Fondations superficielles	Règles pour le calcul des fondations superficielles	DTU 13.12
Plomberie	Règles de calcul des installations de plomberie sanitaire et des installations d'évacuation des eaux pluviales	DTU 60.11

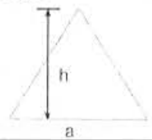
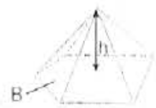
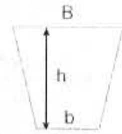
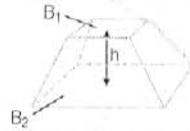
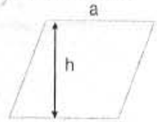
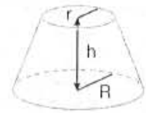
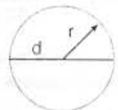
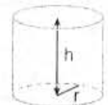
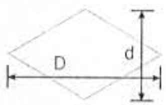
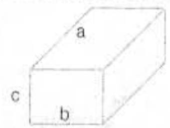
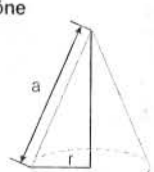
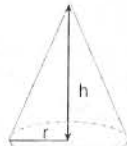
34 SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS (SI)

Principales unités du système international et unités dérivées

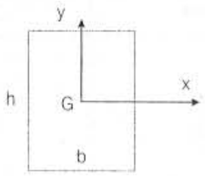
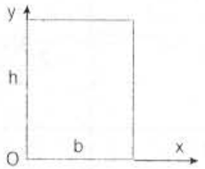
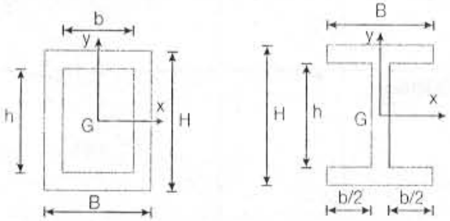
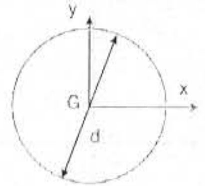
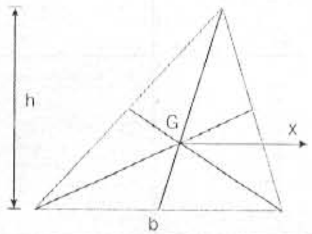
Symboles	Grandeur	Unités	Symboles des unités
L ou l	longueur	mètre	m
S	superficie	mètre carré	m^2
V	volume	mètre cube	m^3
α	angle plan	radian	rad
m	masse	kilogramme	kg
t	temps	seconde	s
f	fréquence	hertz	Hz
v	vitesse	mètre par seconde	m/s
ω	vitesse angulaire	radian par seconde	rad/s
γ	accélération	mètre par seconde carré	m/s^2
F	force	newton	N
W	énergie ou travail	joule	J
P	puissance	watt	W
p	pression	pascal	Pa
t ou θ	température	degré Celsius ou Kelvin	°C ou K
Q	quantité de chaleur	joule	J
λ	conductivité thermique	watt par mètre degré Kelvin	W/mK
C	capacité thermique	joule par kilogramme degré Kelvin	J/kgK
Φ	flux thermique	watt	W
I	intensité du courant	ampère	A
Q	quantité d'électricité	coulomb	C
E	force électromotrice	volt	V
U	tension/différence de potentiel	volt	V
R	résistance électrique	ohm	Ω
B	induction magnétique	tesla	T
Φ	flux magnétique	weber	Wb
L	inductance électrique	henry	H
C	capacité électrique	farad	F
Z	impédance	ohm	Ω
Φ	flux lumineux	lumen	lm
E	éclairement	lux	lx
J	intensité lumineuse	candela	cd

35 FORMULAIRE

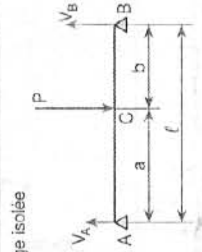
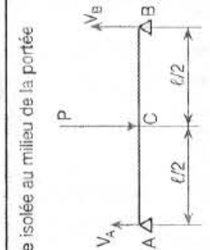
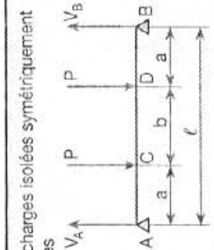
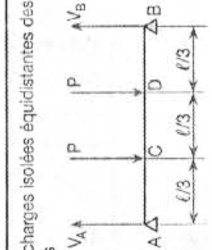
35.1 SURFACES ET VOLUMES

Figures	Surfaces	Figures	Volumes
Triangle 	$\frac{ah}{2}$	Pyramide 	$\frac{Bh}{3}$
Trapèze 	$\left(\frac{B+b}{2}\right)h$	Tronc de pyramide 	$\frac{h}{3}(B_1 + B_2 + \sqrt{B_1 B_2})$
Parallélogramme 	ah	Tronc de cône 	$\frac{\pi h}{3}(R^2 + Rr + r^2)$
Cercle 	$\frac{\pi d^2}{4}$	Cylindre 	$\pi r^2 h$
Losange 	$\frac{Dd}{2}$	Parallélépipède rectangle 	abc
Sphère 	$4\pi r^2$	Sphère 	$\frac{4}{3}\pi r^3$
Cône 	surface latérale : πra surface totale : $\pi r(r+a)$	Cône 	$\frac{\pi r^2 h}{3}$

35.2 MOMENTS QUADRATIQUES

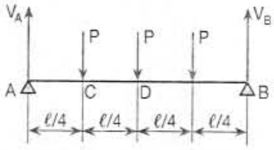
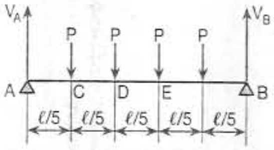
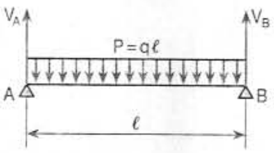
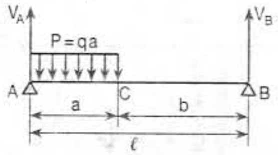
Figures	Moments quadratiques
Rectangle par rapport à un axe passant par G 	$IGx = \frac{bh^3}{12}$ $IGy = \frac{hb^3}{12}$
Rectangle par rapport à un côté 	$IGx = \frac{bh^3}{3}$ $IGy = \frac{hb^3}{3}$
Rectangle creux et forme en I 	$IGx = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$ $IGy = \frac{HB^3 - hb^3}{12}$ pour le rectangle creux seulement
Cercle 	$IGx = IGy = \frac{\pi d^4}{64}$
Triangle 	$IGx = \frac{bh^3}{36}$

35.3 SOLLICITATIONS ET DÉFORMATIONS DES POUTRES DROITES

Nature des charges	V_A V_B	T	T_m	M	M_O	f_C	f	θ_A θ_B
1 Charge isolée 	$V_A = P\frac{b}{\ell}$ $V_B = P\frac{a}{\ell}$	de A à C $\frac{Pb}{\ell}$ de C à B $\frac{Pa}{\ell}$	$\frac{Pb}{\ell}$ (si a<b) $\frac{Pa}{\ell}$ (si a>b)	de A à C $\frac{Pb}{\ell}x$ de C à B $\frac{Pa}{\ell}(\ell - x)$	$\frac{Pab}{\ell}$ (en C)	$-\frac{Pa^2b^2}{3EI\ell}$	$-\frac{Pa}{3EI\ell}\left(\frac{b(\ell+a)}{3}\right)^{3/2}$ (si a<b)	$\theta_A = -\frac{Pab(\ell+b)}{6EI\ell}$ $\theta_B = +\frac{Pab(\ell+a)}{6EI\ell}$
2 Charge isolée au milieu de la portée 	$V_A = \frac{P}{2}$ $V_B = \frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2}$ de C à B $-\frac{P}{2}$	$\frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2}x$ de C à B $\frac{P}{2}(\ell - x)$	$\frac{P\ell}{4}$	$-\frac{P\ell^3}{48EI}$	$-\frac{P\ell^3}{48EI}$	$\theta_A = -\frac{P\ell^2}{16EI}$ $\theta_B = +\frac{P\ell^2}{16EI}$
3 Deux charges isolées symétriquement placées 	$V_A = P$ $V_B = P$	de A à C P de C à D 0	P	de A à C Px de C à D Pa	Pa	$-\frac{Pa^2}{6EI}(3\ell - 4a)$	$-\frac{Pa}{24EI}(3\ell^2 - 4a^2)$	$\theta_A = -\frac{Pa(\ell-a)}{2EI}$ $\theta_B = +\frac{Pa(\ell-a)}{2EI}$
4 Deux charges isolées équidistantes des appuis 	$V_A = P$ $V_B = P$	de A à C P de C à D 0	P	de A à C Px de C à D $P\frac{\ell}{3}$	$\frac{P\ell}{3}$	$-\frac{5P\ell^3}{162EI}$	$-\frac{23P\ell^3}{648EI}$	$\theta_A = -\frac{P\ell^2}{9EI}$ $\theta_B = +\frac{P\ell^2}{9EI}$

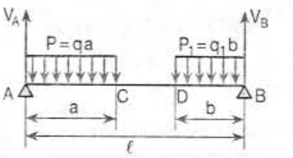
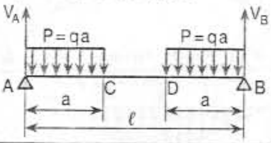
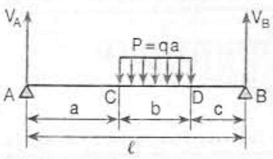
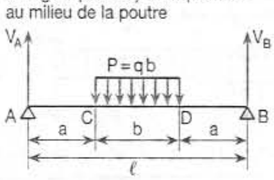
V_A et V_B : Réaction d'appui en A et B
T : Équation de l'effort tranchant
T_m : Valeur de l'effort tranchant maximum
M : Équation du moment fléchissant
M_O : Valeur du moment fléchissant
f_C : Valeur de la flèche au point C
f : Valeur maximale de la flèche
θ_A et θ_B : Rotation en A et B

SOLLICITATIONS ET DÉFORMATIONS DES POUTRES DROITES (suite)

Nature des charges	V_A V_B	T	T_m	M	M_O	f_C	f	θ_A θ_B
5 Trois charges isolées, réparties symétriquement 	$V_A = \frac{3P}{2}$ $V_B = \frac{3P}{2}$	de A à C $\frac{3P}{2}$ de C à D $\frac{P}{2}$	$\frac{3P}{2}$	de A à C $\frac{3P}{2}x$ de C à D $\frac{P}{2}x + \frac{P\ell}{4}$	$\frac{P\ell}{2}$	—	$-\frac{19P\ell^3}{384EI}$	$\theta_A = -\frac{5P\ell^2}{32EI}$ $\theta_B = +\frac{5P\ell^2}{32EI}$
6 Quatre charges isolées, réparties symétriquement 	$V_A = 2P$ $V_B = 2P$	de A à C $2P$ de C à D P de D à E 0	$2P$	de A à C $2Px$ de C à D $Px + \frac{P\ell}{5}$ de D à E $\frac{3P\ell}{5}$	$\frac{3P\ell}{5}$	—	$-\frac{63P\ell^3}{1000EI}$	$\theta_A = -\frac{P\ell^2}{5EI}$ $\theta_B = +\frac{P\ell^2}{5EI}$
7 Charge uniformément répartie 	$V_A = \frac{P}{2}$ $V_B = \frac{P}{2}$	$\frac{P}{2} - \frac{P}{\ell}x$	$\frac{P}{2}$	$\frac{P}{2}x - \frac{\ell}{2\ell}x^2$	$\frac{q\ell^2}{8}$ ou $\frac{P\ell}{8}$	—	$-\frac{5q\ell^4}{384EI}$ ou $-\frac{5P\ell^3}{384EI}$	$\theta_A = -\frac{P\ell^2}{24EI} = -\frac{q\ell^3}{24EI}$ $\theta_B = +\frac{P\ell^2}{24EI} = +\frac{q\ell^3}{24EI}$
8 Charge uniformément répartie sur une partie de la portée 	$V_A = \frac{P(2\ell - a)}{2\ell}$ $V_B = \frac{Pa}{2\ell}$	de A à C $V_A - \frac{P}{a}x$ de C à B $-V_B$	V_A	de A à C $V_A x - \frac{P}{2a}x^2$ de C à B $V_B(\ell - x)$	$\frac{a(V_A)^2}{2P}$ au point $x = \frac{aV_A}{P}$	$-\frac{Pa^2(\ell-a)(4\ell-3a)}{24EI\ell}$	—	$\theta_A = -\frac{Pa(2\ell-a)^2}{24EI\ell}$ $\theta_B = +\frac{Pa(2\ell^2-a^2)}{24EI\ell}$

V_A et V_B : Réaction d'appui en A et B — T : Equation de l'effort tranchant — T_m : Valeur de l'effort tranchant maximum — M : Equation du moment fléchissant — M_O : Valeur du moment fléchissant — f_C : Valeur de la flèche au point C — f : Valeur maximale de la flèche — θ_A et θ_B : Rotation en A et B

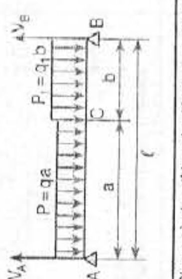
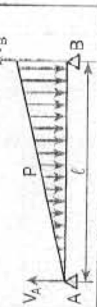
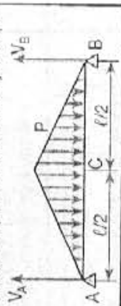
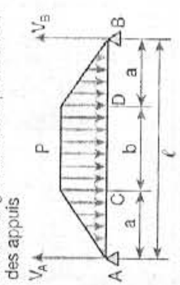
SOLLICITATIONS ET DÉFORMATIONS DES POUTRES DROITES (suite)

Nature des charges	V_A V_B	T	T_m	M	M_O	f_C	f	θ_A θ_B
9 Deux charges réparties près des appuis 	$V_A = \frac{P(2\ell-a)+P_1 b}{2\ell}$ $V_B = \frac{P_1(2\ell-b)+P_1 a}{2\ell}$	de A à C $V_A - \frac{P}{a}x$ de C à D $V_A - P$ de D à B $-V_B + P_1\frac{\ell-x}{b}$	V_A si $\frac{P}{\ell-b} > \frac{P_1}{\ell-a}$ V_B si $\frac{P}{\ell-b} > \frac{P_1}{\ell-a}$	de A à C $V_A x - \frac{P}{2a}x^2$ de C à D $(V_A - P)x + \frac{Pa}{2}$ de D à B $V_B(\ell-x) - \frac{P_1(\ell-x)^2}{2b}$	Si $P_1 b < Pa$ $\frac{a(V_A)^2}{2P}$ pour $x = a\frac{V_A}{P}$ Si $P_1 b > Pa$ $\frac{b(V_B)^2}{2P}$ pour $\ell - x = \frac{bV_B}{P_1}$	—	—	$\theta_A = -\frac{Pa(2\ell-a)^2}{24EI\ell} - \frac{P_1 b(2\ell^2-b^2)}{24EI\ell}$ $\theta_B = \frac{Pa(2\ell^2-a^2)}{24EI\ell} + \frac{P_1 b(2\ell-b)^2}{24EI\ell}$
10 Deux charges symétriquement réparties près des appuis 	$V_A = P$ $V_B = P$	de A à C $P - \frac{P}{a}x$ de C à D 0	P	de A à C $Px - \frac{P}{2a}x^2$ de C à D $\frac{Pa}{2}$	$\frac{Pa}{2}$	$-\frac{Pd^2(6\ell-7a)}{24EI}$	$-\frac{Pa(3\ell^2-2a^2)}{48EI}$	$\theta_A = -\frac{Pa(3\ell-2a)}{12EI}$ $\theta_B = +\frac{Pa(3\ell-2a)}{12EI}$
11 Charge répartie dans le cours de la poutre 	$V_A = \frac{P(2c+b)}{2\ell}$ $V_B = \frac{P(2a+b)}{2\ell}$	de A à C V_A de C à D $V_A - \frac{P}{b}(x-a)$ de D à B $-V_B$	V_A si $a<c$ V_B si $a>c$	de A à C $V_A x$ de C à D $V_A x \frac{P}{2b}(x-a)^2$ de D à B $V_B(\ell - x)$	$\frac{P(\ell+c-a)(\ell+a-c)(\ell+a+c)}{8\ell^2}$ pour $x = \frac{\ell^2+a^2-c^2}{2\ell}$	—	—	—
12 Charge répartie symétriquement au milieu de la poutre 	$V_A = \frac{P}{2}$ $V_B = \frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2}$ de C à D $\frac{P}{2} - \frac{P}{b}(x-a)$	$\frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2}x$ de C à D $\frac{P}{2}x - \frac{P}{2b}(x-a)^2$	$\frac{P(2\ell-b)}{8}$	$-\frac{Pa(\ell^2+2ab)}{24EI}$	$-\frac{P(2\ell-b)(4\ell^2+2b\ell-b^2)}{384EI}$	$\theta_A = -\frac{P(3\ell^2-b^2)}{48EI}$ $\theta_B = +\frac{P(3\ell^2-b^2)}{48EI}$

V_A et V_B : Réaction d'appui en A et B — T : Equation de l'effort tranchant — T_m : Valeur de l'effort tranchant maximum — M : Equation du moment fléchissant — M_O : Valeur du moment fléchissant — f_C : Valeur de la flèche au point C — f : Valeur maximale de la flèche — θ_A et θ_B : Rotation en A et B

FORMULAIRE

SOLLICITATIONS ET DÉFORMATIONS DES POUTRES DROITES (suite)

Nature des charges	V_A V_B	T	T_m	M	M_O	f_C	f	θ_A θ_B
13 Deux charges uniformément réparties 	$V_A = P + \frac{P_1 b}{2\ell} - \frac{Pa}{2\ell}$ $V_B = P_1 + \frac{Pa}{2\ell} - \frac{P_1 b}{2\ell}$	de A à C $V_A - \frac{P}{a}x$ de C à B $-V_B + \frac{P_1}{b}(\ell - x)$	V_A si $P > P_1$ V_B si $P < P_1$	de A à C $V_A x - \frac{P}{2a}x^2$ de C à B $V_B(\ell - x) - \frac{P_1}{2b}(\ell - x)^2$	Si $P_1 b < Pa$ $\frac{a(V_A)^2}{2P}$ pour $x = a\frac{V_A}{P}$ Si $P_1 b > Pa$ $\frac{b(V_B)^2}{2P_1}$	—	—	—
14 Charge à répartition régulièrement variable 	$V_A = \frac{P}{3}$ $V_B = \frac{2P}{3}$	$\frac{P}{3} - \frac{P}{\ell^2}x^2$	$\frac{2P}{3}$	$\frac{P}{3}x - \frac{P}{3\ell^2}x^3$	$\frac{2P\ell\sqrt{3}}{27}$ pour $x = \frac{\ell}{\sqrt{3}}$	—	$-0{,}01304\frac{P\ell^3}{EI}$ pour $x = 0{,}5193\,\ell$	$\theta_A = -\frac{7P\ell^2}{180EI}$ $\theta_B = +\frac{8P\ell^2}{180EI}$
15 Charge à répartition variable et symétrique 	$V_A = \frac{P}{2}$ $V_B = \frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2} - \frac{2P}{\ell^2}x^2$	$\frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2}x - \frac{2P}{3\ell^2}x^3$	$\frac{P\ell}{6}$	—	$-\frac{P\ell^3}{60EI}$	$\theta_A = -\frac{5P\ell^2}{96EI}$ $\theta_B = +\frac{5P\ell^2}{96EI}$
16 Charge à répartition variable et symétrique 	$V_A = \frac{P}{2}$ $V_B = \frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2} - \frac{2P}{\ell}x + \frac{2P}{\ell^2}x^2$	$\frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2}x - \frac{P}{\ell}x^2 + \frac{2P}{3\ell^2}x^3$	$\frac{P\ell}{12}$	—	$-\frac{3P\ell^3}{320EI}$	$\theta_A = -\frac{P\ell^2}{32EI}$ $\theta_B = +\frac{P\ell^2}{32EI}$
17 Deux charges isolées équidistantes des appuis 	$V_A = \frac{P}{2}$ $V_B = \frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2} - \frac{P}{a(a+b)}\frac{x^2}{2}$ de C à D $\frac{P\ell}{2(a+b)} - \frac{Px}{a+b}$	$\frac{P}{2}$	de A à C $\frac{P}{2}x - \frac{P}{a(a+b)}\frac{x^3}{6}$ de C à D $-\frac{Pa^2}{6(a+b)} + \frac{P\ell x}{2(a+b)} - \frac{Px^2}{2(a+b)}$	$\frac{P(3\ell^2 - 4a^2)}{24(\ell - a)}$	—	$-\frac{P(5\ell^2 - 4a^2)^2}{1920(\ell - a)EI}$	$\theta_A = -\frac{P(\ell^2 + a\ell - a^2)}{24EI}$ $\theta_B = +\frac{P(\ell^2 + a\ell - a^2)}{24EI}$

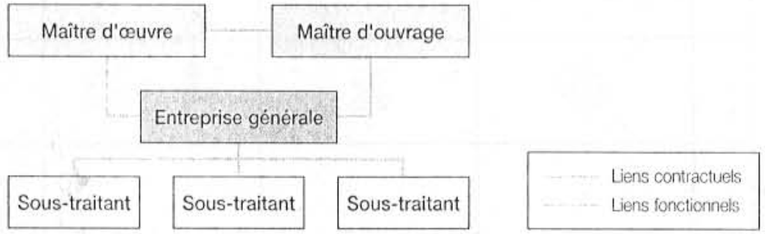
V_A et V_B : Réaction d'appui en A et B
T : Équation de l'effort tranchant
T_m : Valeur de l'effort tranchant maximum
M : Équation du moment fléchissant
M_O : Valeur du moment fléchissant
f_C : Valeur de la flèche au point C
f : Valeur maximale de la flèche
θ_A et θ_B : Rotation en A et B

36 L'ENTREPRISE ET L'ACTE DE CONSTRUIRE

36.1 MODES D'INTERVENTION DES ENTREPRISES

ENTREPRISE GÉNÉRALE

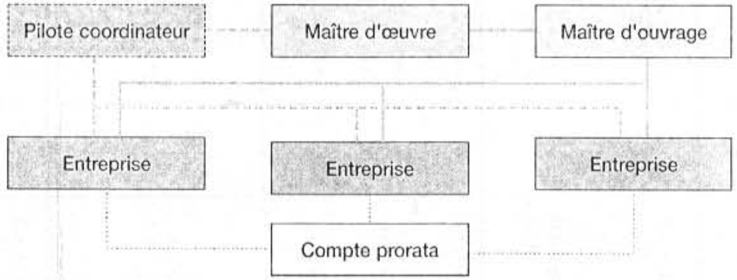
Le maître d'ouvrage confie les travaux à une seule entreprise.
Cette entreprise peut sous-traiter une partie des travaux.
Elle demeure responsable directe du marché auprès du maître de l'ouvrage.
Schématisation des liens contractuels :



ENTREPRISES SÉPARÉES

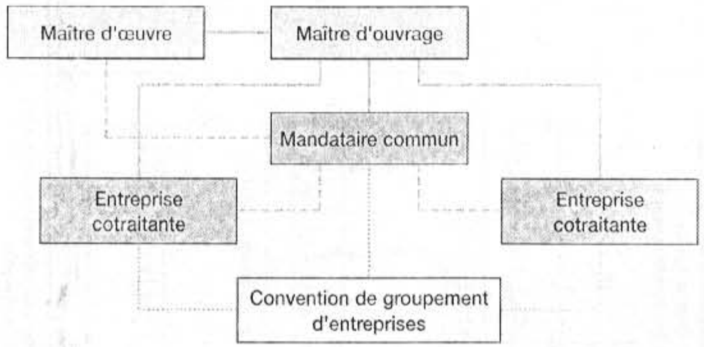
Le maître d'ouvrage confie les travaux à des entreprises distinctes.
Chaque entreprise a un marché propre sans lien contractuel avec les autres.
La coordination des travaux est assurée par le maître d'œuvre éventuellement assisté d'un pilote.
Établissement d'un compte prorata pour gérer les dépenses d'intérêt commun.

Schématisation des liens contractuels :

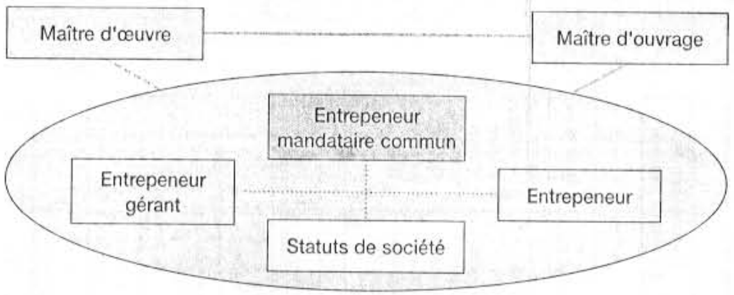


GROUPEMENT D'ENTREPRISES

Schématisation générale des liens contractuels dans les cas de marchés publics et privés :



GROUPEMENT D'ENTREPRISES (suite)	■ **CAS N° 1 : GROUPEMENT D'ENTREPRISES EN MARCHÉS PUBLICS** (art. 2.31 du Cahier des clauses administratives générales) 1. Établissement d'un acte d'engagement unique. 2. Deux sortes de groupements d'entreprises : – Entreprises solidaires : chacune d'elle est engagée pour la totalité du marché et doit pallier une éventuelle défaillance de ses partenaires. – Entreprises conjointes : chacune d'elles est engagée pour le ou les lots qui lui sont assignés. 3. Le mandataire commun est toujours solidaire.
	■ **CAS N° 2 : GROUPEMENT D'ENTREPRISES EN MARCHÉS PRIVÉS** 1. Les normes NF P 03-001 et P 03-002 ne font pas de distinction entre groupement solidaire et conjoint. 2. La convention de groupement précise ses propres règles qui valent donc contrat.
SOCIÉTÉ EN PARTICIPATION	Les associés peuvent convenir que la société ne sera pas immatriculée, elle est dite alors « société en participation », ce n'est pas une personne morale (art. 1871 Code civil). Pour que cette société puisse réaliser l'ouvrage, il est nécessaire que chaque associé contracte en son nom, par l'intermédiaire (par exemple) d'un groupement d'entreprises. Schématisation des liens contractuels :



36.2 CONSULTATION DES ENTREPRISES

	Type de consultation	Caractéristiques
MARCHÉS PUBLICS	Adjudication ouverte ou restreinte	Le seul critère de sélection est le prix. – ouverte : toutes les entreprises qualifiées peuvent remettre une offre. – restreinte : seules les entreprises retenues par le bureau d'adjudication peuvent remettre une offre.
	Appel d'offres ouvert ou restreint	Sélection sur le prix, la valeur technique, le coût d'utilisation, les garanties professionnelles et financières, le délai, etc. (ouvert et restreint, voir ci-dessus Adjudication)
	Appel d'offres avec concours	Se pratique lorsque des motifs d'ordre technique ou esthétique justifient des recherches particulières. Mêmes critères de sélection que les autres appels d'offres.
	Marché négocié	Libre attribution du marché à un entrepreneur. – avec mise en compétition : souvent simple demande de devis à quelques entreprises. – sans mise en concurrence : dans le cas d'urgence ou de travaux de faible importance.
MARCHÉS PRIVÉS	Pas de règles particulières	Le maître de l'ouvrage peut négocier comme il l'entend avec des mises au point successives avec les entreprises.

36.3 NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES MARCHÉS DE TRAVAUX PUBLICS

	MARCHÉS PUBLICS		MARCHÉS PRIVÉS	
	État	Collectivités	Réglementés	Droit commun
CLASSIFICATION	Établissements publics : – Caisses de Sécurité sociale – Universités – C.N.R.S. – Parcs nationaux – Chambres d'agriculture – Ports autonomes – Établissements sociaux	– Régions – Départements – Communes – Territoires d'outre-mer – Communautés urbaines – Syndicats d'aménagement – Districts – Hôpitaux – Bureaux d'aide sociale – O.P.H.L.M. – Caisses des écoles – Etc.	Société d'H.L.M. Société coopératives de reconstruction Organismes sociaux privés Ets publics à caractère industriel ou commercial Sociétés d'économie mixte	Sociétés immobilières Personnes privées Promoteurs, Etc.

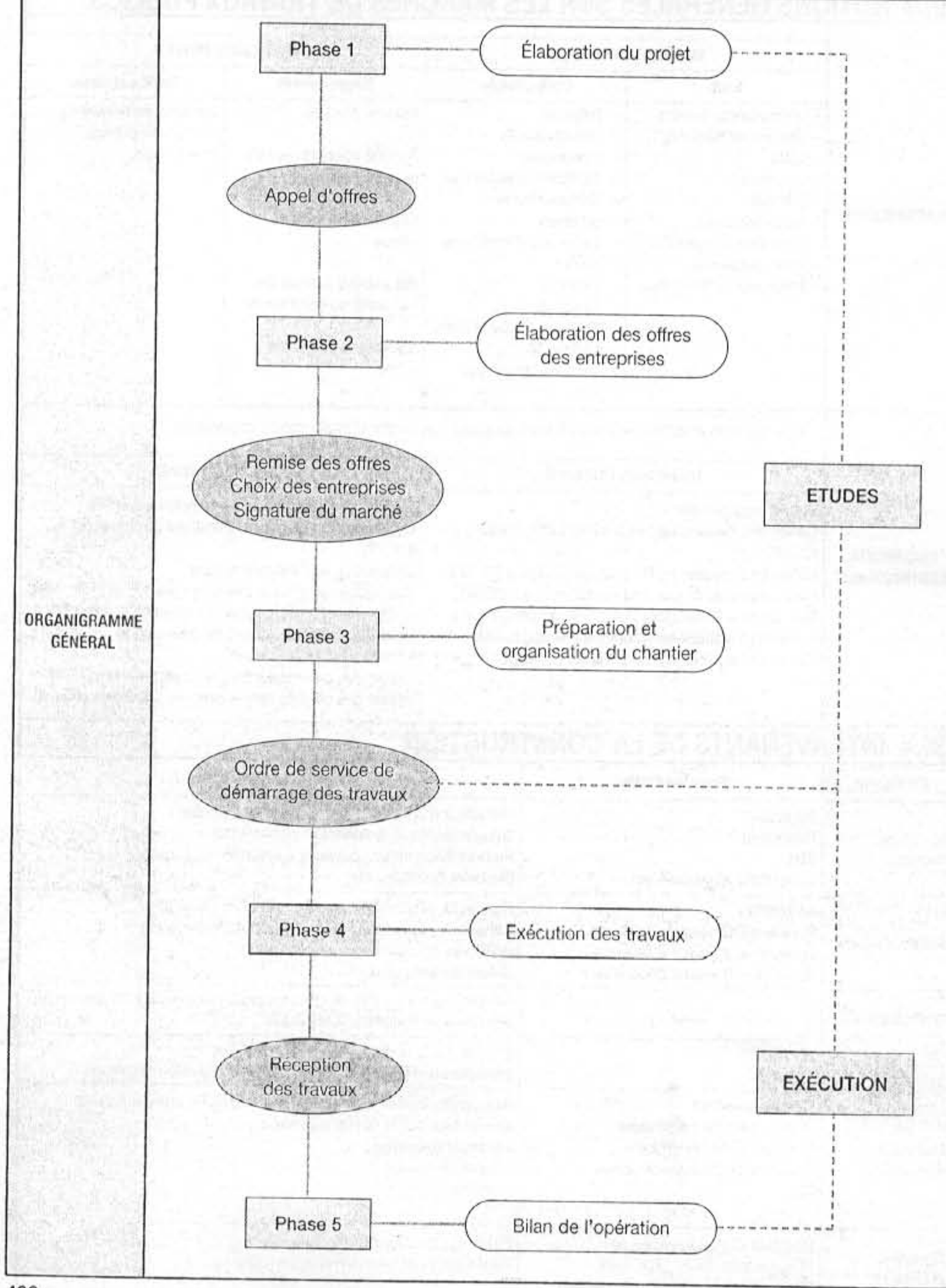
Tous les documents ci-dessous sont classés par ordre d'importance croissante.

	MARCHÉS PUBLICS	MARCHÉS PRIVÉS
DOCUMENTS CONTRACTUELS	Acte d'engagement Cahier des clauses administratives particulières (CCAP) Cahier des clauses techniques particulières (CCTP) Plans, notes de calcul... (si mentionnés au CCAP) État des prix forfaitaires, bordereau de prix unitaires Cahier des clauses techniques générales (CCTG) Cahier des clauses administratives générales (CCAG)	Lettre d'engagement ou soumission acceptée Cahier des clauses administratives particulières (CCAP) Description écrite des ouvrages Description graphique des ouvrages Cahier des clauses spéciales (règles de calculs, DTU) Calendrier général, calendrier d'exécution Échéancier des paiements Cahier des clauses techniques particulières (CCTP) Cahier des clauses administratives générales (CCAG)

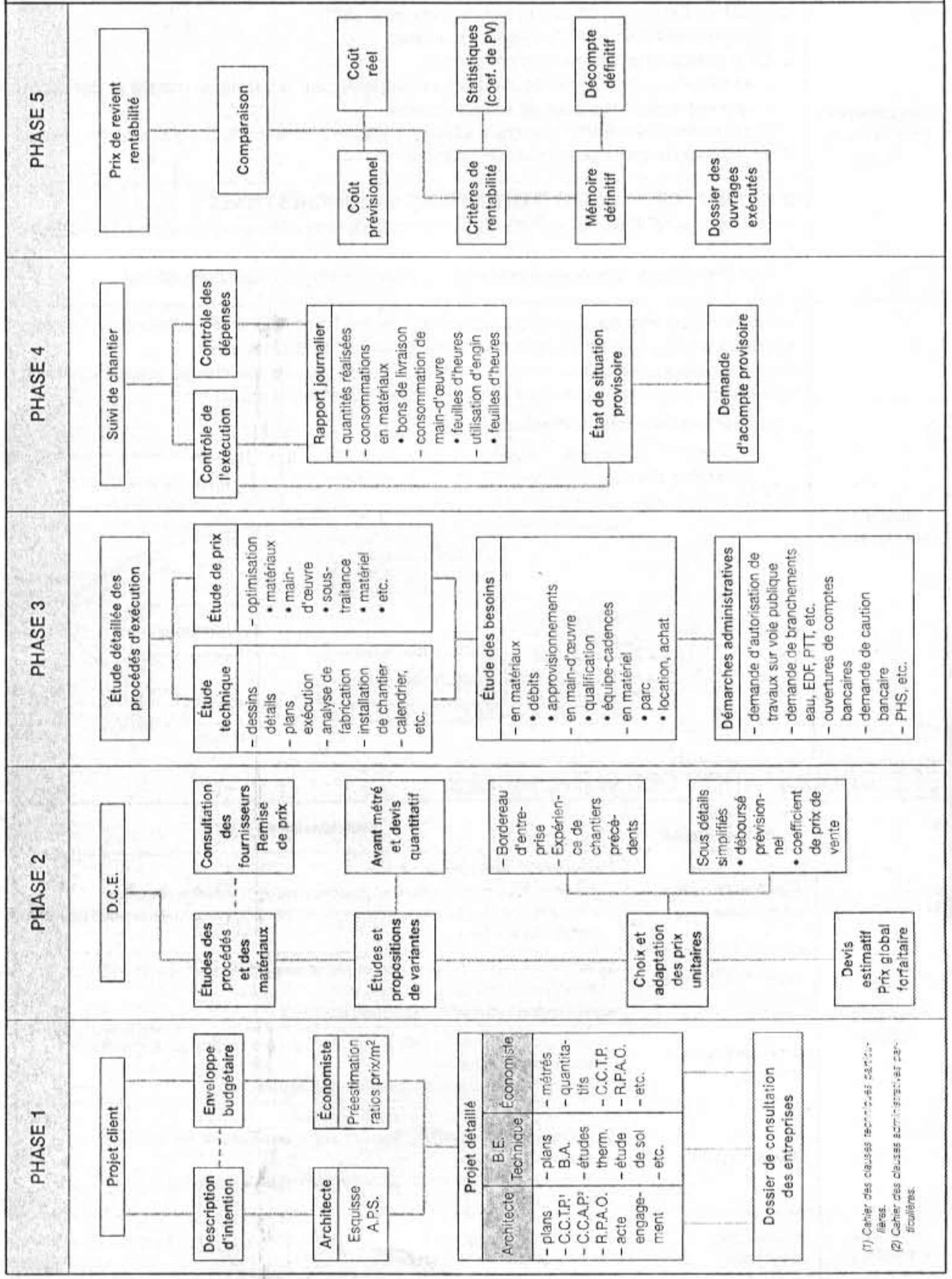
36.4 INTERVENANTS DE LA CONSTRUCTION

Catégorie	Représentants	Fonctions principales
Maître de l'ouvrage	Particulier Promoteur État Collectivité territoriale, etc.	Prendre à son compte l'intention de construire Trouver les moyens financiers nécessaires Prendre livraison de l'ouvrage, prononcer la réception Exploiter l'ouvrage, etc.
Maître d'œuvre	Architectes Bureau d'étude, maître d'œuvre Entrepreneur, maître d'œuvre Services techniques publics, etc.	Concevoir, représenter, décrire et évaluer l'ouvrage Coordonner les études techniques complémentaires Introduire les demandes administratives Diriger les travaux, etc.
Entrepreneur		Réaliser les travaux en mettant en œuvre les moyens en personnel, matériaux et matériel nécessaires
Contrôleur technique	SOCOTEC Véritas, etc.	Intervient à la demande du maître de l'ouvrage Vérifie la solidité des ouvrages et la sécurité des personnes.
Technicien spécialisé	Géomètre-expert Bureau d'étude béton armé Bureau d'étude thermique Économiste de la construction Etc.	Assurer les études techniques, financières ou administratives demandées par le maître d'œuvre : – plans d'exécution ; – notes de calculs ; – métrés, devis, etc.
Services publics	Direction départementale de l'Équipement (DDE), EDF-GDF, Service des eaux et assainissement	Étude des problèmes d'urbanisme Fournisseurs et gestionnaires de réseaux Etc.

36.5 DÉROULEMENT D'UNE OPÉRATION DE CONSTRUCTION



■ CONTENUS PRINCIPAUX DES DIFFÉRENTES PHASES



37 ÉLÉMENTS D'ÉTUDE DE PRIX

37.1 CORRESPONDANCE ENTRE LES TRAVAUX ET LEUR ESTIMATION

ÉLÉMENTS A PRENDRE EN COMPTE

Production Ensemble des réalisations de l'entreprise pour un temps donné (mois, trimestre, année...)	**Chiffre d'affaires** Montant général de l'activité de l'entreprise durant cette même période
Ouvrage Réalisation de l'entreprise prise dans son ensemble (pavillon, immeuble, pont...)	**Montant hors taxes des travaux** Montant global (hors TVA) d'un ouvrage
Ouvrage élémentaire Partie spécifique de l'ouvrage qui se distingue par la nature particulière du travail demandé Exemple : semelles filantes en béton armé, carrelage en grès cérame...	**Montant partiel** Coût d'un ouvrage élémentaire
Unité d'ouvrage élémentaire Unité commune à l'étude de prix et au métré Exemple : le m^3 pour une fouille en excavation	**Prix de vente unitaire** Élément de base de toute facturation

37.2 COÛT DE REVIENT (CR)

DÉFINITION

Il représente le coût réel, toutes dépenses confondues, d'un ouvrage élémentaire ou d'un ouvrage en totalité.

Il peut être

- prévisionnel : *Établi au stade de l'étude, sert à établir un devis estimatif*
- réel : *Établi après la réalisation de l'ouvrage à partir des données d'exécution*

DÉCOMPOSITION DU COÛT DE REVIENT

Appellation	Caractéristiques	Contenu/Remarques
Déboursés secs (DS)	Liés aux ouvrages élémentaires	Main-d'œuvre + matériaux + matériel Il y a autant de DS que d'articles dans le métré de l'ouvrage
Frais de chantier (FC)	Liés à un ouvrage en totalité	Baraques de chantier, grues, etc. Impossibilité d'affectation à un ouvrage élémentaire précis
Frais généraux (FG)	Liés au fonctionnement général de l'entreprise	Salaires des administratifs, loyer du siège, etc. Non directement liés au chantier mais supportés par l'entreprise
Frais d'opération (Fop)	Liés à des modalités particulières du marché	Frais de dossier, frais de bureau de contrôle, etc. Ne se rencontrent pas systématiquement lors de l'étude d'une affaire

La composition d'un coût de revient peut donc s'écrire :

$$CR = DS + FC + FG + Fop$$

37.3 COÛT DE PRODUCTION (CP)

DÉFINITION	Notion complémentaire importante, il représente les dépenses exigées par la seule réalisation sur chantier (appelé quelquefois déboursé total).	CP = DS + FC

37.4 PRIX DE VENTE (PV)

DÉCOMPOSITION

Il s'agit du prix que payera le maître d'ouvrage à l'entrepreneur exécutant les travaux définis par contrat.
On l'évalue hors taxes puis on rajoute la TVA.
Le taux actuel de la TVA pour les travaux de génie civil est de 20,6 %.

PV HT + TVA = PV TTC

Au stade de la consultation des entreprises, les prix de vente sont généralement obtenus à partir des coûts de revient prévisionnels auxquels on ajoute le bénéfice prévu (B) pour l'affaire.

PV HT = CR + BÉNÉFICE PRÉVU

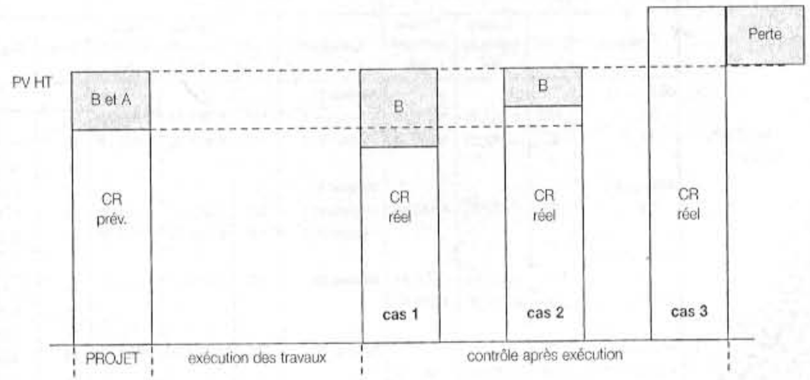
La composition d'un prix de vente peut donc s'écrire :

PV HT = DS + FC + FG + Fop + B

37.5 NOTIONS RELATIVES AUX MARGES ENTRE CR ET PV

Bénéfice (B) et aléas (A)	Marge séparant le **coût de revient prévisionnel** du **prix de vente HT** au stade du devis.
Bénéfice	Marge séparant le **coût de revient réel** du **prix de vente HT** lorsque **PV HT > CR réel.**
Perte	Marge séparant le **coût de revient réel** du **prix de vente HT** lorsque **CPR réel.**
Écart	Différence due aux imprévus entre le **coût de revient prévisionnel** et le **coût de revient réel.**

MODÉLISATION

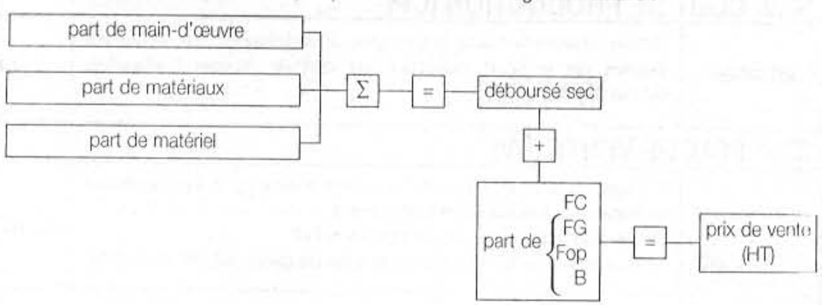


Cas 1 : CR réel < CR prévisionnel → augmentation du bénéfice
Cas 2 : CR réel > CR prévisionnel mais PVHT respecté → diminution du bénéfice escompté
Cas 3 : CR réel > PVHT → perte

37.6 PRINCIPE DU SOUS-DÉTAIL DE PRIX

CONTENU

Construction d'un sous-détail de prix pour une unité d'ouvrage élémentaire :



DÉBOURSÉ SEC

Composants du D.S.	Quantité élémentaire		Déboursé unitaire		D.S. correspondant
Main-d'œuvre	Temps unitaire d'exécution	×	Déboursé horaire	=	Part de M.O.
					+
Matériaux	Besoin élémentaire	×	Valeur hors taxes	=	Part de matériaux
					+
Matériel	Besoin élémentaire	×	Coût d'utilisation	=	Part de matériel
					=
					Déboursé sec de l'unité d'ouvrage élémentaire

DÉBOURSÉ HORAIRE

C'est le coût par heure de la main-d'œuvre productive, toutes dépenses et charges prises en compte.

Voici, à ce jour, les dernières données connues (mai 1999) :

OUVRIERS BATIMENT Partie fixe : 2 450 F (373,50 €) valeur du point : 28,01 F (4,27 €)				OUVRIERS TRAVAUX PUBLICS Valeurs du point : 55,90 F et 57,30 F				PETITS DÉPLACEMENTS			
Catégorie	Coeff.	Salaire mensuel (F)	Salaire mensuel (€)	Catégorie	Coeff.	Salaire mensuel (F)	Salaire mensuel (€)	Zones	Repas	Transport	Trajet
Niveau I :				**Niveau I :**				EN FRANCS			
– O.E. 1	150	6 651,30	1 014,01	– position 1	100	6 797,18	1 036,22	Ia	–	2,22	2,06
– O.E. 2	170	7 211,50	1 099,39	– position 2	110	6 820,00	1 039,70	Ib	45,00	11,33	7,10
								II	45,00	22,53	9,72
Niveau II :				**Niveau II :**				III	45,00	30,78	14,55
– O.P.	185	7 632,00	1 163,49	– position 1	125	7 487,50	1 141,46	IV	45,00	39,40	20,22
				– position 2	140	8 386,00	1 278,44	V	45,00	47,95	24,19
Niveau III :								EN EUROS			
– C.P. 1	210	8 332,00	1 270,21	**Niveau III :**	165	9 883,50	1 506,73	Ia	–	0,34	0,31
– C.P. 2	230	8 892,50	1 355,65					Ib	6,86	1,73	1,08
								II	6,86	3,43	1,48
Niveau IV :				**Niveau IV :**	180	10 782,00	1 643,71	III	6,86	4,69	2,22
– M.O./C.E. 1	250	9 452,50	1 441,02					IV	6,86	6,01	3,08
– M.O./C.E. 2	270	10 012,50	1 526,40					V	6,86	7,31	3,69

Note :

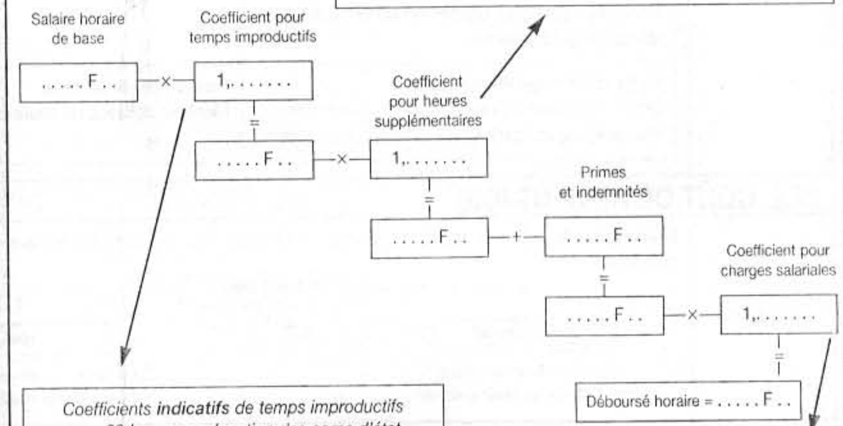
zone Ia : de 0 à 4 km – zone Ib : de 4 à 10 km – zone II de 10 à 20 km – zone III : de 20 à 30 km – zone IV : de 30 à 40 km – zone V : de 40 à 50 km.

SOURCE : MONITEUR

DÉBOURSÉ HORAIRE (suite)

Mode simplifié de calcul d'un déboursé horaire d'ouvrier d'après la « méthode d'analyse des coûts : Anabase » (Fédération nationale du bâtiment)

Horaire	Incidence heures supplémentaires	Coefficients
40 h	$\frac{39 + (1 \times 1,25)}{40} = \frac{40,25}{40}$	1,006
41 h	$\frac{39 + (2 \times 1,25)}{41} = \frac{41,50}{41}$	1,012
42 h	$\frac{39 + (3 \times 1,25)}{42} = \frac{42,75}{42}$	1,018
43 h	$\frac{39 + (4 \times 1,25)}{43} = \frac{44}{43}$	1,023
44 h	$\frac{39 + (5 \times 1,25)}{44} = \frac{45,25}{44}$	1,028
45 h	$\frac{39 + (6 \times 1,25)}{45} = \frac{46,5}{45}$	1,033



Coefficients indicatifs de temps improductifs pour 39 heures, en fonction des corps d'état

Maçonnerie, béton armé, plâtrerie	1,04
Charpente, menuiserie, métallerie	1,05
Couverture, étanchéité	1,06
Plomberie, chauffage, électricité	1,05
Peinture, ravalement	1,06
Vitrerie, miroiterie	1,08

Coefficients de C.S. (1993)

Gros-œuvre	1,8882
Plâtrerie, carrelage	1,884
Charpente bois	1,895
Menuiserie	1,850
Couverture, plomberie	1,875
Chauffage	1,796
Serrurerie	1,881
Peinture, vitrerie	1,818
Électricité	1,776

VALEURS HORS TAXES DES MATÉRIAUX

Ces coûts sont fonction de :

- la valeur d'achat des matériaux nette de remises
- les frais de transport
- les frais de conditionnement
- les frais de manutention
- etc.

Note : l'incidence des pertes, chutes ou casses aura avantage à être prise en compte au niveau des besoins élémentaires de matériaux plutôt qu'au niveau de leur valeur HT.

On aura tout intérêt à présenter les calculs sous la forme d'un tableau de modèle suivant :

matériaux	Unité	valeur HT départ	transport	manutention	conditionnement	valeur HT rendue chantier

COÛTS D'UTILISATION DU MATÉRIEL

Ils se déterminent à partir de la valeur du matériel à l'état neuf, sa durée de vie et des charges diverses que l'on peut apprécier grâce au tableau suivant :

Frais de mise à disposition.	Achat → amortissement Location à l'extérieur Transport – manutention – montage…
Frais d'entretien	Réparations Pièces de rechange Entretien courant Pneumatiques…
Frais de fonctionnement	Matières consommables (énergie, etc.) Petites fournitures…
Frais de conduite	Main d'œuvre spécifique…
Frais complémentaires	Assurances Taxes (vignette…) Travaux accessoires (préparation du sol…) Équipements accessoire (mobilier dans barraque…)

TRANSFORMATION D'UN DÉBOURSÉ SEC EN PRIX DE VENTE HORS TAXES

Il s'agit de passer directement, au moyen de coefficients calculés, des déboursés secs aux prix de vente hors taxes que l'on facturera au client. A ce niveau :

On récupère : les frais de chantier,
les frais généraux,
les frais d'opération, s'ils existent.

On estime la marge bénéficiaire escomptée.

• **Cas n° 1 : on veut passer directement d'un déboursé sec à un prix de vente hors taxes.**

Il suffit de transformer la relation : PVHT = DS + FC + FG (+ Fop) + B
en : PVHT = $K \times$ DS

Voici deux exemples de solutions parmi d'autres :

Frais de chantier évalués en % de DS Frais généraux évalués en % de PVHT Frais d'opération évalués en % de PVHT Bénéfice choisi en % de PVHT	$K = \dfrac{1 + FC}{1 - FG - Fop - B}$
Frais de chantier évalués en % de DS Frais d'opération évalués en % de CR Bénéfice choisi en % de PVHT Pas de frais d'opération	$K = \dfrac{(1 + FC)(1 + FG)}{1 - B}$

• **Cas n° 2 : on veut partir d'un déboursé sec, connaître son coût de revient avant d'obtenir le prix de vente hors taxes.**

Il faut calculer deux coefficients : DS → Kf → CR → Kb → PVHT

Le premier à partir de la relation ——► PVHT = CR + B
que l'on transforme en PVHT = $Kb \times$ CR

Le deuxième à partir de la relation ——► CR = DS + FC + FG (+ Fop)
que l'on transforme en CR = $Kf \times$ DS

FC et FG confondus, évalués en % de DS Bénéfice choisi en % de PVHT Pas de frais d'opération	$Kb = \dfrac{1}{1 - B}$ et $Kf = 1 + Fcg$

PRÉSENTATION DES SOUS-DÉTAILS

Il n'y a pas de règles précises mais on présente presque systématiquement les sous-détails de prix sous forme de tableaux adaptés aux besoins de chaque entreprise. Voici un exemple :

08. PLÂTRERIE

Code article	Unité	Descriptions et sous détails ouvrages	Prix en déboursés secs	Coeff. F.G.	Coût de revient	Coeff. vente	Prix de vente HT	Observations
		Cloisons de distributions						
08 11 01	m²	En briques plâtrières hourdées au plâtre, épaisseur 35 mm						
		Fournitures						
		briques 13 U à 1,70 F l'U.	22,10 F					
		plâtre 0,007 t à 579,30 F la t.	4,06 F					
		Main d'œuvre : (0 h 40/0 h 50) 0 h 55 à 88,19 F l'h.	48,50 F					
		TOTAL DÉBOURSÉS	74,66 F	x 1,292 =	96,46 F	x 1,04 =	100,32 F	
08 11 02	m²	En briques plâtrières hourdées au plâtre, épaisseur 50 mm						
		Fournitures						
		briques 13 U à 2,03 F l'U.	26,39 F					
		plâtre 0,008 t à 579,30 F la t.	4,06 F					
		Main d'œuvre : (0 h 40/0 h 50) 0 h 60 à 88,19 F l'h.	52,91 F					
		TOTAL DÉBOURSÉS	83,93 F	x 1,292 =	108,44 F	x 1,04 =	112,78 F	
08 11 03	m²	En carreaux de plâtre pleins, à parements lisses, épaisseur 50 mm						
		Fournitures						
		carreaux 3,1 U à 18,20 F l'U.	56,42 F					
		colle 2,100 kg à 2,27 F le kg	4,77 F					
		semelle 0,50 ml à 2,85 F la t.	4,43 F					
		Main d'œuvre : (0 h 40/0 h 50) 0 h 75 à 88,19 F l'h.	66,14 F					
		TOTAL DÉBOURSÉS	128,76 F	x 1,292 =	136,36 F	x 1,04 =	173,01 F	

37.7 DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF (DQE)

PRÉSENTATION DES SOUS-DÉTAILS

Il s'agit du document remis au maître de l'ouvrage, faisant office de facturation des travaux.

Il comprend obligatoirement : la date de rédaction,
le nom et l'adresse de l'entreprise,
le nom du client et le lieu d'exécution des travaux,
la durée de validité de l'offre,
la somme à payer HT puis TTC en précisant le taux de la TVA.

Voici le type de présentation couramment utilisée :

Devis client					
Code ouvrage	Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix unitaire	Produits
41 27 09 27	Croisée 2 vantaux en bois rouge exotique à peindre 125 ht × 140 cm avec vitrage isolant 12 mm	u	1	3 562,20	3 562,20
41 27 27 03	Majoration pour petits bois assemblés pour 2 carreaux	u	2	95,80	191,60
41 27 27 06	Majoration pour carreaux supplémentaires	u	12	47,91	574,92
41 27 15 06	Volets à barres et écharpes à vantaux dimension de base 130 ht × 120 cm	u	1	1 478,44	1 478,44
41 27 15 09	• majoration par m² en plus	m²	0,20	369,39	73,88
				Total HT	5 881,04
				TVA 20,6 %	1 211,50
				Total TTC	7 092,54

37.8 VARIATION DES PRIX

BUT, MOYENS

Les prix du génie civil sont considérés comme fermes et définitifs, sauf si une clause du marché prévoit leur variation. Cela permet ainsi de rattraper l'inflation générale au niveau d'un devis.
On dispose de deux techniques : l'actualisation et la révision de prix qui ne sont pas cumulables en marché public mais qui peuvent l'être en marché privé.
On utilise pour cela :
1. Des valeurs appelées index BT pour le bâtiment et TP pour les travaux publics publiées par le ministère de l'Équipement et du Logement.

Extrait de la circulaire 96-18 du 22 février 1996 relative aux valeurs de novembre 1995
(index hors TVA, base 100 en janvier 1974, janvier 1991 et octobre 1991)

DÉFINITION	Codifi-cation	Juin 1995	Juillet 1995	Août 1995	Sept. 1995	Oct. 1995	Nov. 1995
Tous corps d'état	**BT01**	**529,7**	**529,4**	**529,5**	**529,5**	**529,8**	**529,1**
Référence au Journal officiel		*08-10-95*	*21-10-95*	*03-12-95*	*13-01-96*	*07-02-96*	
Terrassements	**BT 02**	557,9	558,0	560,7	561,9	562,3	562,2
Maçonnerie et canalisations sauf ossatures, béton armé, carrelage, revêtements et plâterie :							
béton	**BT 03**	544,6	544,5	545,4	545,7	546,5	547,0
briques	**BT 04**	485,3	485,8	487,3	486,3	490,4	490,9
Ossature, ouvrages en béton armé	**BT 06**	506,1	503,5	502,1	501,6	501,5	499,4
Ossature et charpentes métalliques	**BT 07**	387,4	387,1	384,2	382,3	380,1	378,3
Plâtre et préfabriqués	**BT 08**	512,5	512,1	512,9	512,6	513,8	514,4
Carrelage et revêtement céramique	**BT 09**	503,4	503,1	503,8	503,9	504,7	505,3
Revêtement en : plastique	**BT 10**	634,9	648,4	649,1	649,3	650,0	650,6
textiles synthétiques	**BT 11**	562,8	568,4	569,0	569,2	569,8	570,2
textiles naturels	**BT 12**	519,2	538,7	539,1	539,3	539,4	539,5
mosaïque en bois collé	**BT 13**	541,2	541,7	542,3	542,4	542,8	543,1
etc.							

2. Des formules valables aussi bien pour l'actualisation que pour la révision (données ici en fonction des index BT).

cas n°1 - marchés privés :

$$P = Po\frac{BT}{BTo}$$

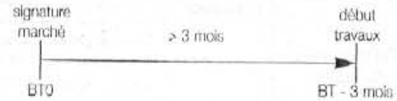
cas n°2 - marchés publics :

$$P = Po(0{,}125 + 0{,}875\frac{BT}{BTo})$$

Avec
- P montant des travaux actualisé ou révisé
- Po montant initial des travaux à la signature du marché
- BT valeur de l'index pour le mois de révision ou d'actualisation
- BTo valeur de ce même index au mois d'établissement du prix Po
- 0,125 valeur minimale de la partie fixe
- 0,875 valeur maximale de la partie variable

ACTUALISATION

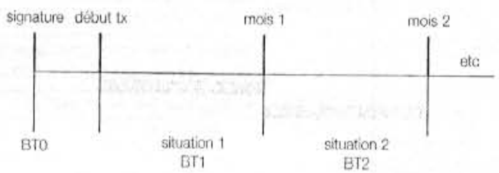
Elle n'intervient que si le délai entre la signature du marché et le début des travaux est supérieur à trois mois. On observera alors une marge de neutralisation à la lecture finale de l'index BT de trois mois.



L'actualisation de prix ne s'effectue donc qu'une fois, le prix s'apparentant par la suite à un prix ferme.

RÉVISION

Pour des chantiers de longue durée, on révisera toutes les situations de travaux mois par mois, l'index BTO étant lu à la signature du marché, les autres correspondant aux différents mois d'établissement des situations.



38 ESSAIS DE LABORATOIRE

38.1 GRANULATS ET SOLS

ANALYSE GRANULO-MÉTRIQUE

PAR TAMISAGE D'UN GRANULAT (NF P 18-560)

Détermination de la granularité d'un matériau qui est caractérisée par la distribution dimensionnelle des éléments (supérieure ou égale à 0,08 mm). Elle est mesurée par le refus au travers d'une série de tamis à mailles carrées. Les résultats sont présentés en portant en abscisse les dimensions des tamis (suivant une échelle logarithmique) et en ordonnées le pourcentage en masse de tamisat (passant à une maille donnée).

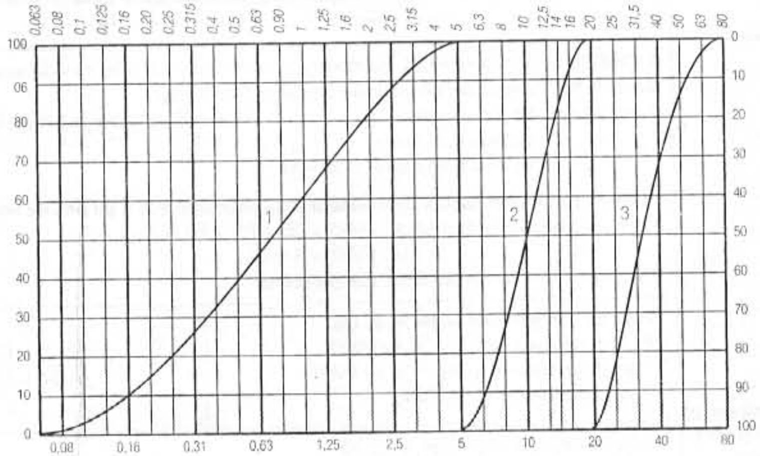
L'analyse granulométrique peut se faire par voie humide ou par voie sèche ; dans les deux cas les masses déterminées sont des masses sèches.
La masse (M) de l'échantillon pour l'essai dépend de la dimension (D) du plus gros élément :

200 D < M < 600 D
avec M en gr et D en mm

- **Classement des granulats :**

sable	0,08 à 5 mm	courbe 1
gravillons	5 à 20 mm	courbe 2
cailloux	20 à 80 mm	courbe 3

- **Analyse granulométrique des granulats**



Module de finesse d'un sable : c'est le 1/100 de la somme des refus aux tamis de 0,16-0,315-0,63-1,25-2,5 et 5 mm. Cette valeur doit être comprise entre 1,8 et 3,2 ; elle représente sensiblement la surface comprise entre la courbe granulométrique et la parallèle d'ordonnée 100 à l'axe des abscisses.

PAR SÉDIMENTOMÉTRIE D'UN SOL (NF P 94-057)

Pour un sol on fait une analyse granulométrique par tamisage pour classer les particules supérieures à 0,08 mm puis une sédimentométrie pour classer les éléments inférieurs à 0,08 mm.
On caractérise la courbe par deux coefficients C_u (coefficient d'uniformité) et C_c (coefficient de courbure) :

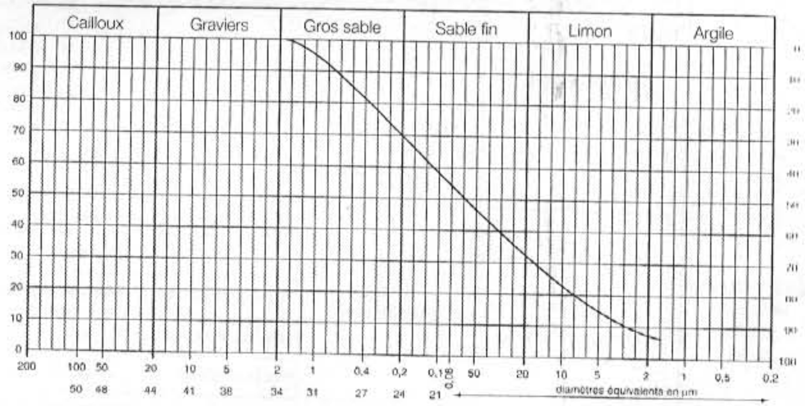
$$C_u = D_{60}/D_{10}$$
$$C_c = D_{30}^2/D_{60} \times D_{10}$$

avec D_p : dimension correspondant au % p

Si $C_u > 2$ la granulométrie est étalée, on recherche également le Dmax et le % de passant à 0,08 mm.

ANALYSE GRANULO-MÉTRIQUE (suite)

- **Courbe granulométrique**



L'analyse granulométrique par sédimentation se fait en mettant dans l'eau additionnée d'un défloculant les particules inférieures à 0,08 mm. Elles sédimentent à différentes vitesses. Au moyen d'un densimètre on mesure l'évolution dans le temps de la masse volumique de la solution et la profondeur d'immersion de l'appareil. La relation entre le diamètre des grains et la vitesse de sédimentation est donnée par la loi de Stokes :

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\,\eta} d^2$$

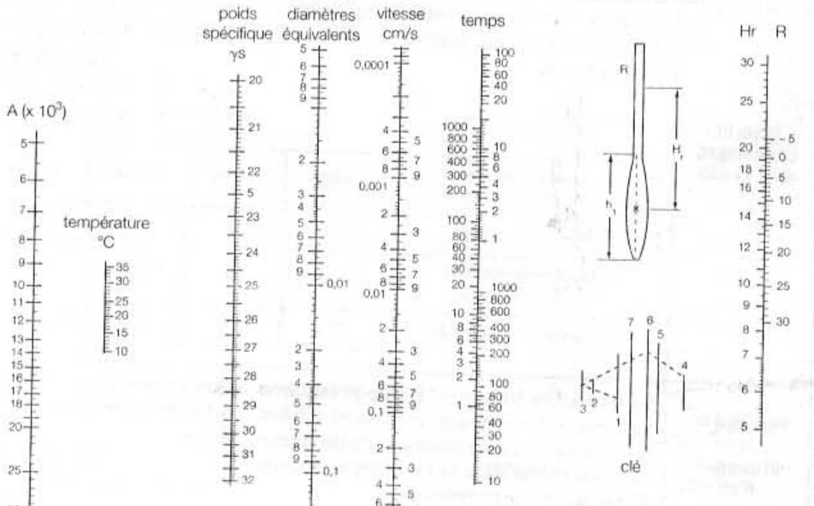
avec :

- v vitesse de chute de la particule en cm/s
- γ_s poids spécifique de la particule en kN/m³
- γ_w poids spécifique du liquide en kN/m³
- η viscosité dynamique du liquide en Pa/s
- d diamètre de la particule en cm

Cette loi étant établie pour des grains sphériques, on obtient par cette méthode des « diamètres équivalents ».

Le nomogramme de Casagrande donne les diamètres équivalents.

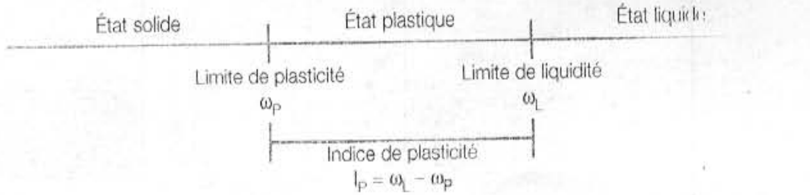
- **Nomogramme d'après Casagrande pour le calcul des diamètres équivalents**



On connaît 1 et 2, on trouve 3.
On connaît 4 et 5, on trouve 6.
On joint 3 et 6, on trouve 7 (ce que l'on cherche).

LIMITES D'ATTERBERG (NF P 94-051)

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau



La limite de liquidité ω_L et la limite de plasticité ω_P traduisent le comportement du mortier du sol sur la fraction 0/0,4 mm de présence d'eau.

Tableau de valeurs de Ip

I_P	Degré de plasticité
0 à 5	matériau non plastique
5 à 10	matériau moyennement plastique
15 à 40	matériau plastique
> 40	matériau très plastique

Valeurs numériques

	ω_L	ω_P	I_P
Argile du Rhône	28	17	11
Limon d'Orly	38	18	20
Argile de Provins	114	29	85
Argile de Mexico	500	125	375

ESSAI AU BLEU DE MÉTHYLÈNE MÉTHODE À LA TACHE (NF P 18-592 pour les granulats) (NF P 94-068 pour les sols)

Il permet de mesurer la capacité des éléments fins d'un sable à absorber du bleu de méthylène. On appelle valeur au bleu (VB) des fines la quantité de bleu de méthylène absorbée par 100 g de fines.

On mélange le matériau à 200 cm³ d'eau distillée avec une agitation permanente. On ajoute dans ce mélange successivement des doses de 5 cm³ de bleu de méthylène et on prélève une goutte du mélange à chaque fois que l'on dépose sur du papier filtre. La tache formée se compose d'un dépôt central de matériau d'un bleu soutenu entourée d'une zone humide incolore. Le test est dit positif lorsqu'autour du dépôt central apparaît une auréole bleu clair.

$$VB = V/f$$

- V volume final de solution de bleu (cm³)
- f quantité de fines (en g) dans la solution soumise à l'essai

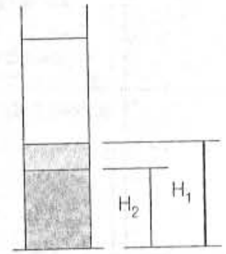
ÉQUIVALENT DE SABLE (NF P 18-598)

L'essai permet de mesurer la propreté d'un sable sur la fraction d'un granulat passant au tamis de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floculent.

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport multiplié par 100 de la partie sableuse à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse.

$$ES = 100 \times H2/H1$$

Sable pur	ES = 100
Sable propre pour béton	ES > 80
Grave pour couche de base	ES > 35 à 40
Grave pour couche de fondation	ES > 30 à 35
Sable argileux	ES < 35
Argile	ES = 0



ÉQUIVALENT DE SABLE À 10 % DE FINES (NF P 18-597)

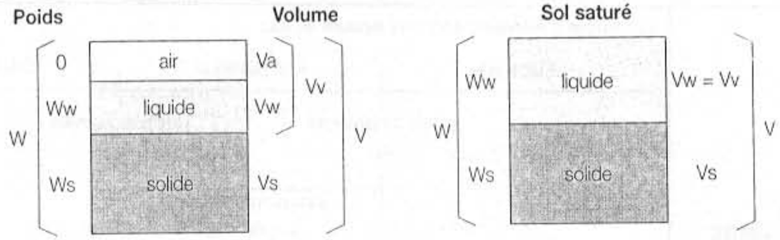
L'essai est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis de 2 mm et dont la proportion passant au tamis de 0,08 mm a été ramenée à 10 % à l'aide d'un sable correcteur. La valeur de l'équivalent de sable à 10 % de fine est :

$$ES \text{ à } 10\,\% = 100\ H2/H1$$

- H2 hauteur de la partie sableuse
- H1 hauteur totale du floculat et de la partie sableuse

ES = 100	matériau très propre
ES = 40	matériau propre
ES < 20	matériau très argileux

PARAMÈTRES D'UN SOL



$\gamma = W/V$ poids spécifique du sol humide (en place)
$\gamma_w = Ww/Vw$ poids spécifique de l'eau = 10 kN/m^3
$\gamma_s = Ws/Vs$ poids spécifique du solide
$\gamma_d = Ws/V$ poids spécifique du sol sec
densité sèche γ_d/γ_w — $e = Vv/Vs$ indice des vides
densité humide γ_h/γ_w — $n = Vv/V$ porosité

■ TENEUR EN EAU (NF P 94-050)

Quantité d'eau exprimée en pourcentage que contient un solide. On pèse une quantité (30 à 50 g pour les argiles, 1 à 3 kg pour les graviers et sables) de sol humide (Mh), on passe l'échantillon à l'étuve (105-110°) jusqu'à ce que la masse reste constante (Ms).

$$\omega = (Mh - Ms)/Ms$$

■ POIDS SPÉCIFIQUE DU SOLIDE (NF P 94-054)

Poids de l'unité de volume de la matière. L'essai se fait à l'aide d'un pycnomètre et de l'eau dans lequel on verse un certain poids (Ws) de matériau.

$\gamma_s = Ws/Vs$ $\qquad$ $26\ kN/m^3 < \gamma_s < 28\ kN/m^3$

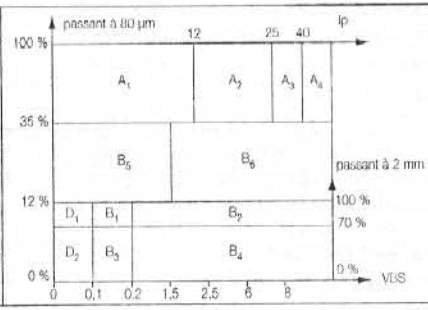
Caractéristiques de différents sols

Sol	Porosité n %	Indice des vides e	Teneur en eau w %	Densité sèche γ_d/γ_w	Densité humide γ_h/γ_w
Sable peu compact	46	0,85	32	1,43	1,89
Sable compact	30	0,43	16	1,86	2,16
Argile très molle (bentonite)	84	5,2	194	0,43	1,27
Sable de Fontainebleau	46	0,86	10	1,45	1,6
Sable de Loire	34	0,52	24	1,53	1,9
Limon d'Orly	33	0,49	16	1,55	1,8

CLASSIFICATION DES SOLS (GTR)

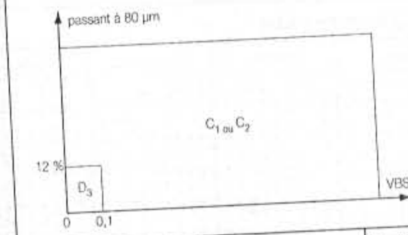
■ TABLEAU SYNOPTIQUE DE CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX SELON LEUR NATURE

Sols - Dmax ≤ 50 mm



CLASSIFICATION DES SOLS (G.T.R.) (suite)

Sols - Dmax > 50 mm



C_1 : matériaux roulés et matériaux anguleux peu charpentés (0/50 > 60 à 80 %)
C_2 : matériaux anguleux très charpentés (0/50 ≤ 60 à 80 %)

Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R_1
			Calcaires	R_2
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R_3
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R_4
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R_5
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers		R_6
Matériaux particuliers	Sols organiques et sous-produits industriels			F

G.T.R. : Guide technique de réalisation des remblais et des couches de formes (SETRA et LCPC). Le classement d'un sol se fait d'après les paramètres de nature :
- Analyse granulométrique (classe A, B, C ou D).
- La valeur au bleu (VBS) ou l'indice de plasticité (IP) ou l'équivalent de sable (ES) suivant les sols.

ESSAI DE LOS ANGELES (NF P 18-573)

On cherche à évaluer la résistance aux chocs d'un granulat en l'introduisant dans un cylindre d'acier avec une charge de boulets d'acier qui ont la fonction de fragmenter le matériau. La charge de boulets est adaptée à la granularité du gravillon.

On calcule le pourcentage d'éléments inférieurs à 1,6 mm en faisant le rapport de la masse (m) de passant au tamis de 1,6 mm à la masse (M) de départ. Cette valeur est le coefficient d'abrasion Los Angeles :

$$LA = 100.m/M$$

Si LA < 15 le matériau est très bon
Si LA > 40 le matériau est très médiocre

Classe granulaire de l'échantillon (mm)	4/6,3	6,3/10	10/14	14/16
Nombre de boulets	7	9	11	11
Nombre de rotations (30 à 33 tours/min)	500	500	500	500
Quantité de matériau (g)	500	500	500	500

FRAGMENTATION DYNAMIQUE D'UN GRANULAT (NF P 18-574)

Comme le Los Angeles, on évalue la résistance aux chocs d'un granulat en laissant tomber, entre 16 et 18 coups suivant la classe granulaire, une masse (M = 14 kg) d'une hauteur de 40 cm sur 350 g de matériau.

On mesure la masse (m) de matériaux inférieurs à 1,6 mm et on calcule la fragmentation dynamique

$$FD = 100.m/M.$$

Les valeurs du Los Angeles (LA) et de la fragmentation dynamique (FD) sont très voisines.

ESSAI D'USURE MICRO-DEVAL (NF P 18-572)

On évalue la résistance à l'usure par frottement des roches, à sec ou (et) en présence d'eau, en mettant une masse d'échantillon (M) dans des cylindres en acier (maximum 4) d'un volume de 4,5 litres montés sur 2 arbres horizontaux avec des billes en acier.

On mesure la masse (m) des éléments inférieurs à 1,6 mm et on calcule le coefficient micro-Deval à sec (MDS) ou en présence d'eau (MDE) :

MDE ou MDS = 100.m/M

MDE = 10 très bon matériau
MDE = 35 matériau très médiocre

Classe granulaire (mm)	4/6.3	6.3/10	10/14
Charges de billes (kg)	2	4	5
Quantité d'eau en l	2,5		
Quantité de matériau (g)	500		

COEFFICIENT DE FRIABILITÉ DES SABLES (NF P 18-576)

On évalue la résistance à la fragmentation d'un échantillon de sable de classe granulaire 0/2 en le mettant dans l'appareil du micro-Deval avec des billes d'acier de 10 mm, 18 mm et 30 mm et en présence d'eau. La masse (M = 500 g) de sable subit un cycle de 1 500 rotations et on mesure la messe (m) d'éléments inférieurs à 0,5 mm produits au cours de l'essai. Le coefficient de friabilité des sables :

FS = 100.m/M.

FS = 10 sable quartzeux
FS = 35 sable calcaire tendre

COEFFICIENT D'APLATISSEMENT DE GRANULATS (NF P 18-561)

Cet essai permet de définir la forme d'un granulat en déterminant le pourcentage des éléments pour lesquels G/E > 1,58.

La forme d'un granulat est définie par 3 dimensions :

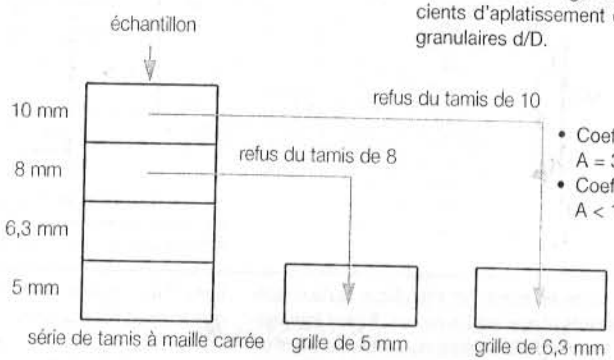
- L longueur du plus grand écartement d'un couple de plans tangents parallèles
- E épaisseur du plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles
- G dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe l'élément.

On effectue un double tamisage :

1. sur tamis pour classer l'échantillon en classes granulaires (d/D avec D = 1,25 d)
2. sur des grilles à fentes parallèles d'écartement d/1,58 pour tamiser les différentes classes granulaires d/D.

Le coefficient d'aplatissement de chaque classe granulaire d/D est égal au pourcentage de passant sur la grille à fente correspondante.

Le coefficient d'aplatissement global de l'échantillon est égal à la somme des coefficients d'aplatissement des différentes classes granulaires d/D.



- Coefficient d'aplatissement A = 30, granulat très plat
- Coefficient d'aplatissement A < 10, granulat cubique

PROPRETÉ SUPERFICIELLE D'UN GRANULAT (NF P 18-591)

La propreté superficielle P d'un granulat est définie par le pourcentage pondéral des particules inférieures à 0,5 mm mélangées ou adhérant à la surface des grains supérieurs à 2 mm

P = 0 granulat très propre
P = 2 granulat sale

ESSAI PROCTOR (NF P 94-093)

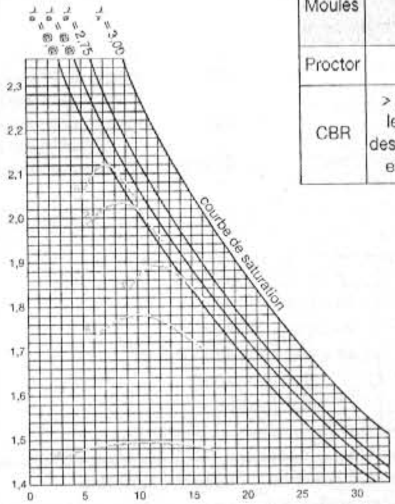
On détermine pour un compactage normalisé et d'intensité donnée la teneur en eau optimale (ω_{opN}) et la densité sèche maximale γ_d/γ_w.

L'essai se fait à partir de moules Proctor ou CBR, de dames normalisées et selon un processus déterminée. On mesure la teneur en eau et la densité de l'échantillon après chaque essai en faisant varier la teneur en eau puis on reporte les points sur un graphe (densité sèche en fonction de la teneur en eau).

Essai	Masse de la dame (kg)	Hauteur de chute (cm)	Nombre de coups par couche	Nombre de couches
Proctor normal	2,490	30,5	25 (moule Proctor) 55 (moule CBR)	3 5
Proctor modifié	4,540	45,7	25 (moule Proctor) 55 (moule CBR)	3 5

On fait un Proctor normal pour les études de remblai en terre et un Proctor modifié pour les sols de fondation (routes, pistes...).

Moules	Diamètre du plus gros granulat (mm)	Quantité de matériaux (kg)	Dimensions du moule diamètre × hauteur (mm)
Proctor	< 5	3	101,6 × 117
CBR	> 5 (si D > 20 mm, les remplacer par des éléments compris entre 5 et 20 mm)	6	152 × 152



Allure des courbes

Pour un même sol l'allure des courbes varie avec la densité de compactage :

- courbe 1 : Proctor Normal
- courbe 2 : Proctor Modifié

Pour un même compactage l'allure des courbes varie avec la nature du sol :

- courbe 3 : sol sableux
- courbe 4 : sol argileux
- courbe 5 : argile sableuse

INDICE CBR APRÈS IMMERSION

INDICE CBR IMMÉDIAT

INDICE PORTANT IMMÉDIAT (NF P 94-078)

On détermine un indice : nombre sans dimension exprimant en pourcentage le rapport entre les pressions produisant un enfoncement donné dans le matériau étudié et dans un matériau conventionnel. Cet enfoncement est réalisé à l'aide d'un poinçon cylindrique de 19,35 cm^2 de section pénétrant à la vitesse de 1,27 mm/mm dans une éprouvette de sol. Au cours de l'essai, on note les charges correspondant aux enfoncements jusqu'à 10 mm. On trace un graphique charge/enfoncement qui doit passer par O (correction si la courbe présente une concavité vers le haut). L'indice recherché est la plus grande des valeurs du rapport des forces ayant provoqué les enfoncements de 2,5 et 5 mm aux valeurs de 13,35 et 20 kN du matériau conventionnel.

Il existe l'indice CBR après immersion (I. CBR immersion) et l'indice CBR immédiat (I. CBR immédiat) pour caractériser un sol ou un matériau élaboré en tant que support ou constituant d'une structure.

Avec l'indice CBR immédiat (ou indice portant immédiat : IPI), on peut évaluer l'aptitude d'un sol ou d'un matériau élaboré à supporter directement sur sa surface la circulation des engins de chantier.

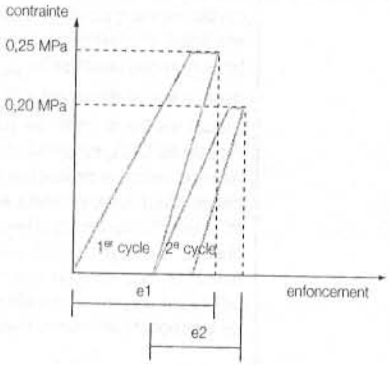
Le matériau est compacté dans les conditions de l'essai Proctor Normal ou Modifié avec le moule CBR à la teneur en eau optimum (ω_{opN} ou ω_{opM}) ou pour différentes teneurs en eau. Après 4 jours d'immersion, l'indice CBR immersion est réalisé.

A l'aide d'abaques, la méthode CBR permet de déterminer l'épaisseur d'une structure de chaussée en fonction de la charge appliquée.

ESSAI DE PLAQUE (NF P 94-071.1)

Pour contrôler le compactage des remblais et assise de chaussée, on mesure la déformabilité d'un sol à l'aide d'une plaque rigide de rayon 0,60 m sur laquelle on exerce une charge, et on mesure l'enfoncement après stabilisation. On trace le diagramme contrainte/enfoncement et on calcule 2 modules de déformation (EV1 et EV2) correspondant à 2 cycles de chargement de 0,25 MPa et 0,20 MPa. Le module de déformation EV est donné par la formule de Boussinesq :

$$EV = \frac{\pi}{2}(1-\upsilon^2) \cdot \frac{\sigma . r}{e}$$



Si EV2/EV1 < 2 bon compactage
Si EV2/EV1 < 1,2 très bon compactage

- r rayon de la plaque rigide
- e enfoncement
- σ contrainte appliquée
- υ coefficient de Poisson = 0,25
- e1 enfoncement sous σ1 = 0,25 MPa (m)
- e2 enfoncement sous σ2 = 0,20 MPa (m)

- EV1 module du 1er chargement EV1 = 0,1125/e1 (MPa)
- EV2 module du 2e chargement EV2 = 0,09/e2 (MPa)
- EV2/EV1 coefficient de compactage

Valeurs indicatives

sol indice de qualité 0	0 < EV2 < 10 MPa
sol indice de qualité 1	10 < EV2 < 20 MPa
sol indice de qualité 2	20 < EV2 < 40 MPa
couche de forme : qualité 3	40 < EV2 < 100 MPa
couche de fondation : qualité 4	EV2 > 100 MPa
couche de base	EV2 > 150 MPa

ESSAI DE PLAQUE WESTERGAARD

Cet essai permet de déterminer le module de réaction Westergaard (K) d'un sol en appliquant sur une plaque circulaire de 0,75 m de diamètre une charge d'environ 30,9 kN (correspondant à une contrainte σ = 0,07 MPa) pendant 10 s et on mesure l'enfoncement e en m.

Par convention :

$K = 0{,}07/e$ si $e < 1{,}3.10^{-3}$m
$K = \sigma/1{,}3.10^{-3}$ si $e > 1{,}3.10^{-3}$m

Valeurs courantes

Types de sol	Valeurs de K
limon, argile raide	K < 20 MPa
sable moyen	10 < K < 60 MPa
limon traité chaux-ciment	
sable dense	60 < K < 200 MPa
grave ciment	60 < K < 400 MPa

ESSAI DE PÉNÉTRATION DYNAMIQUE TYPE A (NP P 94-114)
ESSAI DE PÉNÉTRATION DYNAMIQUE TYPE B (NF P 94-115)

Le pénétromètre dynamique type A (PDA) permet de réaliser des essais de référence à une profondeur limitée à 30 m.
Le pénétromètre dynamique type B (PDB) est utilisé pour effectuer des sondages de reconnaissance du sol limités à une profondeur de 15 m.
Dans les deux cas, les sondages sont réalisés dans des sols fins et grenus dont les éléments ne dépassent pas 60 mm.

Ces essais permettent d'apprécier :
- la succession de différentes couches de terrain,
- l'homogénéité d'une couche ou la présence d'anomalies,
- la position d'une couche résistante dont l'existence est connue.

On enfonce dans le sol par battage un train de tiges muni d'une pointe débordante.

ESSAI DE PÉNÉTRATION DYNAMIQUE TYPE A (NP P 94-114)
ESSAI DE PÉNÉTRATION DYNAMIQUE TYPE B (NF P 94-115)
(suite)

■ PÉNÉTRATION DYNAMIQUE TYPE A

- N nombre de coups pour enfoncer la pointe de 10 cm
- e enfoncement par coup en m
  $e = 10/N$
- q_d résistance dynamique de pointe en Pascals

$$q_d = \frac{m \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \cdot \frac{m}{m + m'}$$

- m masse adaptable du mouton en kg (32, 64, 96 ou 128 kg)
- g accélération de la pesanteur en m/s² ou $m.s^{-2}$
- H hauteur de chute libre du mouton en m (0,75m)
- A aire de la section droite de la pointe en m²
- m' masse cumulée des tiges, de la pointe en kg

Nota : on adapte la masse du mouton afin que l'enfoncement de 10 cm soit compris entre 2 et 30 coups.
La fin de l'essai correspond à :
- la profondeur atteinte,
- l'enfoncement sous 30 coups < 10 cm avec mouton de 128 kg
- le rebond du mouton est > 5 cm.

■ PÉNÉTRATION DYNAMIQUE TYPE B

On vérifie l'importance des efforts parasites sur le train de tiges tous les mètres à l'aide d'une clé dynamométrique graduée au minimum de 100 à 200 N.m
N : nombre de coups pour enfoncer la pointe de 20 cm
La fin du sondage correspond à l'une des conditions suivantes :
- la profondeur préalablement déterminée est atteinte,
- l'enfoncement sous 100 coups est inférieur à 20 cm ou l'enfoncement sous 50 coups est inférieur à 10 cm,
- la mesure du couple dépasse 200 N.m.

On trace un graphe :



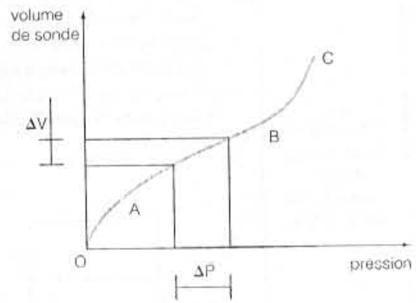
ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE MÉNARD (NF P 94-110)

On injecte dans une sonde cylindrique dilatable introduite dans un forage, un fluide dont on peut mesurer la pression et le volume. L'essai pressiométrique permet de connaître la mesure en place de la relation contrainte – déformation du sol intact en déterminant le module pressiométrique.

$$E_p = \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

Ep en MPa

Courbe pressiométrique



OA : la cellule rejoint les parois du forage
AB : phase quasi élastique ⇒ Ep
BC : l'appareil se dilate dans l'autre sens

ESSAI SISSOMÉTRIQUE EN PLACE (NF P 94-112)

Cet essai en place ne s'applique qu'aux sols cohérents et aux argiles molles. Il peut être réalisé à partir de la surface du terrain ou dans un forage (sondage carotté). Le scissomètre est constitué de 4 pales rectangulaires soudées en croix (diamètre et hauteur variables) sur lesquelles sont fixés un train de tiges et un système d'application et de mesure d'un couple de torsion.

L'essai est réalisé pour mesurer la cohésion non drainée (Cu) du sol :

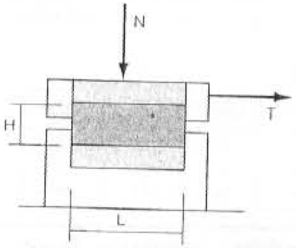
$$Cu = \frac{6 . M_{max}}{\pi . D^2 . (3 . H + D)}$$

- M_{max} moment de torsion maxi
- D diamètre des pales
- H hauteur des pales

ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE

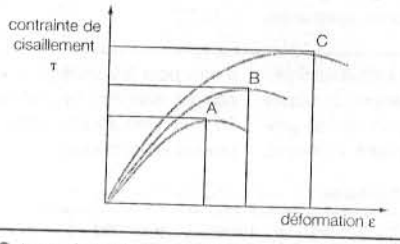
Le cisaillement rectiligne se fait à l'aide de la boîte de Casagrande suivant un plan imposé. L'essai permet de déterminer la résistance au cisaillement (angle de frottement ϕ et cohésion C) d'un sol pour l'étude de la stabilité des pentes et talus.

L'échantillon placé dans la boîte entre 2 pierres poreuses est soumis à une contrainte normale σ = 0,1 MPa et cisaillé à une vitesse contrôlée. L'essai est répété sur 2 autres échantillons à des contraintes différentes (σ = 0,2 et 0,3 MPa).

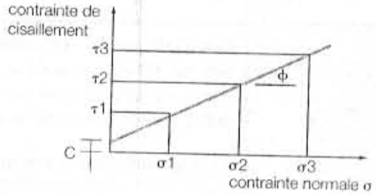


Section de l'échantillon	A	en m²
Effort de cisaillement	T	en N
Effort normal	N	en N
Contrainte de cisaillement	$\tau = T/A$	en Pa
Contrainte normale	$\sigma = N/A$	en Pa
Angle de frottement	ϕ	en degré
Cohésion	C	en Pa

• **Courbe cisaillement-déformation**
A, B et C sont les maximums sur les courbes



• **Courbe intrinsèque ($\tau - \sigma$)**
$\tau = C + \sigma \tan \phi$

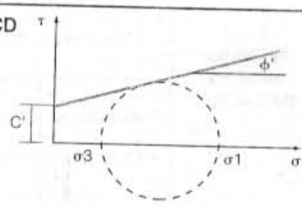


ESSAI DE COMPRESSION TRIAXIALE

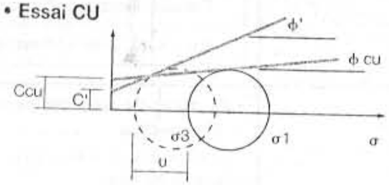
Cet essai permet de déterminer la résistance au cisaillement d'un sol en appliquant une contrainte latérale constante (σ_3) par l'intermédiaire d'une pression hydrostatique et une contrainte verticale variable (σ_1) sur une éprouvette de sol cylindrique. On réalise plusieurs essais avec d'autres valeurs de σ_3. On relève la pression interstitielle u à l'intérieur de l'éprouvette (essai CU).
On trace les cercles de Mohr définis par les contraintes (σ_1, σ_3) puis on trace la droite intrinsèque ou droite de Coulomb d'équation
$\tau = C + \sigma.\tan \phi$

	Essais	Caractéristiques	
CD	consolidé drainé	ϕ'	C'
CU	consolidé non drainé	ϕ_{cu}	Ccu
UU	non consolidé non drainé	ϕ_u	Cu

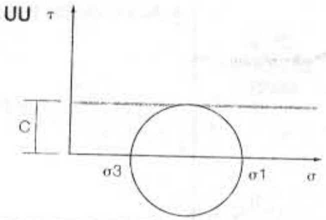
• **Essai CD**



• **Essai CU**

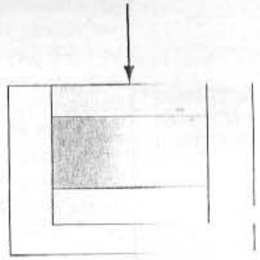


• **Essai UU**

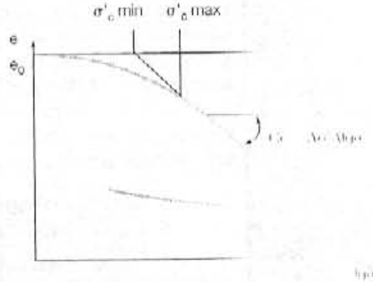


ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ À L'ŒDOMÈTRE

L'essai permet de déterminer les paramètres de consolidation (perméabilité et tassement) des sols. Dans un moule œdométrique, on exerce une compression uniaxiale sur un échantillon de sol placé entre 2 pierres poreuses.
Un système de mesure permet de relever les déformations à charge constante. On trace une courbe de l'indice des vides (e) en fonction du logarithme de la contrainte effective après consolidation (lg σ') et une courbe de la déformation en fonction du temps.



Notation		Unités
e_o	indice des vides initial	sans
e	indice des vides	sans
σ'	contrainte effective après consolidation	Pa
σ'c	contrainte de préconsolidation	Pa
Cc	indice de compression	sans
C'c	indice de décompression	sans
Cv	coefficient de consolidation $C_v = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w}$	m²/s
k	coefficient de perméabilité	m/s
m_v	coefficient de compressibilité volumétrique $m_v = \frac{\Delta e}{(1 + e_o) \cdot \Delta\sigma'}$	Pa-1
γ_w	poids volumique de l'eau	N/m³



L'échantillon n'a pas de déformation latérale comme dans le sol.
L'essai se fait sur un sol avec des éléments < 5 mm.

Il existe plusieurs méthodes de [illegible] de la contrainte de surconsolidation σ'c.

Indice de compression Cc.	
Sable	0,01 < Cc < 0,10
Argile raide	0,10 < Cc < 0,25
Argile moyenne	0,25 < Cc < 0,80
Argile molle	0,80 < Cc < [illegible]

38.2 LIANTS HYDRAULIQUES

ESSAI DE PRISE SUR MORTIER NORMAL (NF P 15-431)

L'essai permet de déterminer le temps qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage et le début de la prise. On utilise l'aiguille de Vicat et la masse mobile de 1 000 g qui s'enfonce dans un moule tronconique rempli de mortier.

On considère le début de prise lorsque l'aiguille s'arrête à une distance supérieure à [illegible] du fond du moule. Exemple :
• début de prise des ciments pour la classe 32.5 et 32.5 R [illegible] min
• début de prise pour les classes 42.5, 42.5 R, 52.5, 52.5 R [illegible] min

ESSAI DE CONSISTANCE DES CIMENTS (EN 196-3)

L'essai permet de déterminer la quantité d'eau optimale d'eau de gâchage. On réalise une pâte normale (500 g de ciment et de l'eau) que l'on place dans un moule tronconique.

On mesure l'enfoncement de l'aiguille de Vicat (diamètre 10 mm) et de la masse mobile de 300 g dans la pâte. Suivant la valeur trouvée on refait l'essai en ajoutant ou en retirant de l'eau dans une nouvelle quantité de ciment de 500 g.

ESSAI DE RETRAIT ET DE GONFLEMENT (NF P 15-433)

L'essai se fait sur des éprouvettes 4 × 4 × 16 que l'on conserve dans l'eau (gonflement) et dans l'air (retrait) et on mesure la variation de longueur ΔL à l'aide d'un dilatomètre à 3, 7, 14, 21, 28 jours, 3, 6 mois, 1, 2, 3 ans.

La valeur du retrait ou du gonflement est exprimée par $(\Delta L/L_o).10^6$ en micromètres par mètre. On trace une courbe de la valeur relative en fonction du temps.

RÉSISTANCES MÉCANIQUES (NF EN 196-1)

On réalise des éprouvettes 4 × 4 × 16 en mortier normal (450 g de ciment, 225 g d'eau et 1 350 g de sable normal, ce qui correspond à 3 éprouvettes). On réalise sur ces éprouvettes un essai de flexion sous charge concentrée et un essai de compression sur les demi-éprouvettes de l'essai précédent qui donnera la classe de résistance garantie des ciments (valeur en MPa).

Désignation de la classe	Résistances à la compression		
	à 2 jours	à 28 jours	
	Limite inférieure	Limite inférieure	Limite supérieure
32.5	–	≥ 32,5	≤ 52,5
32.5 R	≥ 13,5		
42.5	≥ 12,5	≥ 42,5	≤ 62,5
42.5 R	≥ 20		
52.5	≥ 20	≥ 52,5	–
52.5 R	≥ 30		

CLASIFICATION DES CIMENTS EN FONCTION DE LEUR COMPOSITION

Les ciments constitués de clinker et de constituants divers sont classés, en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P 15-301 et ENV 197-1. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèses) :

- CEM I : ciment Portland (CPA dans la notation française),
- CEM II : ciment Portland composé (CPJ),
- CEM III : ciment de haut fourneau (CHF)

	Ciment Portland	Ciment Portland composé		Ciment de haut fourneau			Ciment pouzzolanique		Ciment au laitier et aux cendres	
	CPA-CEM I	CPJ-CEM II/A	CPJ-CEM II/B	CHF-CEM III/A	CHF-CEM III/B	CLK-CEM III/C	CPZ-CEM IV/A	CPZ-CEM IV/B	CLC-CEM V/A	CLC-CEM V/B
Clinker (K)	≥ 95 %	≥ 80 % ≤ 94 %	≥ 65 % ≤ 79 %	≥ 35 % ≤ 64 %	≥ 20 % ≤ 34 %	≥ 5 % ≤ 19 %	≥ 65 % ≤ 90 %	≥ 45 % ≤ 64 %	≥ 40 % ≤ 64 %	≥ 20 % ≤ 39 %
Laitier (S)	•	6 % ≤	21 % ≤	≥ 36 % ≤ 65 %	≥ 66 % ≤ 80 %	≥ 81 % ≤ 95 %	•	•	≥ 18 % ≤ 30 %	≥ 31 % ≤ 50 %
Pouzzolanes (Z)	•	total	total	•	•	•	10 % ≤ total	36 % ≤ total	18 % ≤ total	31 % ≤ total
Cendres siliceuses (V)	•	≤ 20 %	≤ 35 %	•	•	•	≤ 35 %	≤ 55 %	≤ 30 %	≤ 50 %
Fumée de silice (D)	•	(fumée	(fumée	•	•	•	(fumée ≤ 10 %)	(fumée ≤ 10 %)	•	•
Cendres calciques ((W)	•	de	de	•	•	•	•	•	•	•
Schistes (T)	•	silice	silice	•	•	•	•	•	•	•
Calcaires (L)	•	≤ 10 %)	≤ 10 %)	•	•	•	•	•	•	•
Fillers (F)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

SOURCE : *GRANULATS, SOLS, CIMENTS ET BÉTONS*, R. DUPAIN, R. LANCHON, J.-C. SAINT-ARROMAN, CASTEILLA – EDUCALIVRE

38.3 LIANTS HYDROCARBONES

ESSAI DE PÉNÉTRABILITÉ DES BITUMES (NF T 66-004)

Cet essai permet de classer les bitumes par deux nombres qui représentent les limites inférieure et supérieure de la pénétrabilité à 25° C. A l'aide d'un pénétromètre à aiguille, on mesure la profondeur d'enfoncement (en 1/10 de mm) de l'aiguille normalisée sous une charge de 100 g appliquée pendant 5 secondes à une température donnée (la plus courante est 25° C). Plus le bitume est dur, plus la valeur de la pénétrabilité est faible.

- **Spécification des bitumes routiers**

Classe	180/220	80/100	60/70	40/50	20/30
Pénétrabilité à 25° C 100 g – 5 s en 1/10 mm	180 à 220	80 à 100	60 à 70	40 à 50	20 à 30

POINT DE RAMOLLISSEMENT (NF T 66-008)

L'essai, appelé aussi le « Bille et Anneau », consiste à déterminer une température à laquelle le liant atteint un stade de ramollissement déterminé conventionnellement (appelée TBA). On place une bille d'acier de 9,53 mm de diamètre sur un disque de bitume contenu dans un anneau de métal de 15,9 mm de diamètre intérieur et de 6,4 mm d'épaisseur. L'ensemble est placé dans un récipient d'eau que l'on chauffe à raison de 5° par minute et on note la température à laquelle la bille atteint le fond du support : c'est le point de ramollissement « Bille et Anneau ». Plus le bitume est dur, plus le point de ramollissement est élevé.

- **Spécification des bitumes routiers**

Classe	180/220	80/100	60/70	40/50	20/30
Point de ramollissement Bille et Anneau en °C	34 à 43	41 à 51	43 à 56	47 à 60	52 à 68

ESSAI DE RÉSISTANCE AU FROID (FRAGILITÉ FRAASS)

L'essai permet de déterminer la température (que l'on abaisse de 1° C par min), à laquelle se produit la fissuration d'un film de liant (épaisseur voisine de 0,5 mm) étalé sur une lame d'acier et soumis à certaines contraintes mécaniques (flexions successives) : c'est le point de fragilité FRAASS.
Les bitumes routiers classiques ont des points de fragilité FRAASS compris entre – 5 et – 10 °C.

ESSAI DE PSEUDO-VISCOSITÉ (NF T 66-005)

L'essai de pseudo-viscosité des bitumes fluidifiés ou fluxés consiste à mesurer le temps d'écoulement en secondes de 50 cm³ de produit à travers un orifice de diamètre 10 mm ou 4 mm pour les produits dont la pseudo-viscosité au diamètre de 10 mm est inférieure à 10 secondes. Plus la valeur est élevés, plus le produit est visqueux.

- **Classification des bitumes fluidifiés**

Classe	0/1	10/15	600/1200	1200/1600	1600/2400
Pseudo-viscosité à 4 mm à 25° C	< 30 s				
Pseudo-viscosité à 10 mm à 25° C		10 à 15 s	150 à 250 s	400 à 600 s	
Pseudo-viscosité à 10 mm à 40° C					80 à 200

- **Classification des bitumes fluxés**

Classe	400/600	600/1200	1200/1600	1600/2400
Pseudo-viscosité à 10 mm à 25° C (en s)	400 à 600			
Pseudo-viscosité à 10 mm à 40° C (en s)		90 à 140	140 à 200	200 à 300

ESSAI DE VIEILLISSEMENT

- **Facteurs de vieillissement naturel**
  - Température
  - Rayonnement solaire (UV)
  - Action de l'eau
  - Action de l'air (oxygène, ozone...)

- **Évolution des propriétés**

– Pénétrabilité	diminue
– Point de ramollissement bille et anneau (TBA)	augmente
– Viscosité	augmente
– % volatiles	diminue
– Point éclair ou point d'inflammabilité (NF T 60-118)	augmente
– % asphalthènes	augmente
– % d'huiles	diminue
– % de résine	constant

38.4 ÉMULSION DE BITUMES

DÉFINITION

Une émulsion de bitume est une dispersion de bitume dans l'eau (norme NF T 65-000). Elle est caractérisée par :
- une nature ionique (anionique ou cationique),
- une stabilité vis-à-vis des granulats (rupture : rapide, semi-rapide, lente, surstabilisé),
- une teneur en poids du liant de base (classes d'émulsion : 50, 55, 60, 65, 69).

TENEUR EN EAU DES ÉMULSIONS DE BITUME (NF T 66-023)

Essai de contrôle de fabrication qui permet de déterminer la quantité d'eau contenue dans une émulsion de bitume à l'aide d'un appareil dit à « entraînement azéotropique ». Par distillation, l'eau est entraînée à l'aide d'un solvant (toluène) non miscible à l'eau.
Les émulsions de bitume comportent environ 31 à 40 % d'eau.

STABILITÉ AU STOCKAGE D'UNE ÉMULSION

C'est un essai qui permet d'évaluer la tendance des émulsions de bitume à décanter au cours du stockage. On met pendant 7 jours à la température ambiante dans une éprouvette de 500 ml munie de 2 tubulures latérales. On détermine les teneurs en eau des prélèvements faits dans les 40 ml supérieurs et dans les 40 ml inférieurs. La tendance à la décantation est la différence entre la teneur en eau du tube supérieur moins la teneur en eau du tube inférieur.
Si la valeur est négative, on a un crémage.
Si la valeur est positive, on a une sédimentation.

38.5 BÉTON

COMPOSITION DU BÉTON

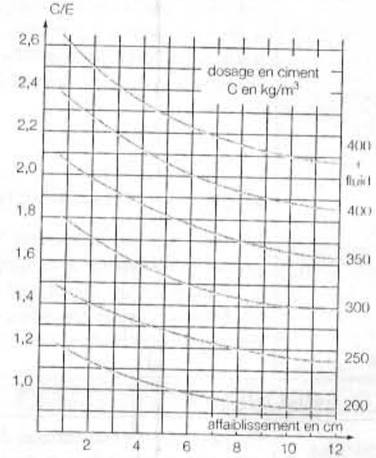
■ MÉTHODE DE DREUX

• **Formule** $f'_{c28} = G\sigma'_c\left(\frac{C}{E} - 0{,}5\right)$

$f'_{c28} = f_{c28}$ majorée de 10 à 20 %

• **Valeurs approximatives du coefficient granulaire G**

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins	Moyens	Gros
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

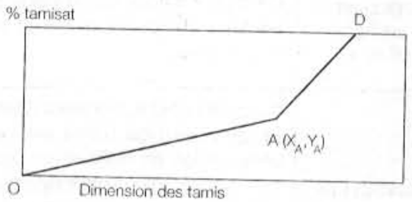


Dans la formule ci-dessus, on calcule le rapport C/E puis on déduit de l'abaque ci-contre le dosage en ciment C en fonction de l'affaissement. On calcule ensuite la quantité d'eau sur laquelle on fera une correction en fonction du diamètre D des granulats.

• **Correction à apporter sur le dosage en eau**

Diamètre en mm	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
Correction en %	+ 9	+ 6	+ 4	+ 2	0	− 2	− 4	− 6

Sur le graphe de l'analyse granulométrique, on trace la courbe de référence OAD (D étant le diamètre du plus gros granulat). Les coordonnées du point A sont XA et YA avec :
XA = D/2 si D est inférieur ou égal à 20
XA = milieu du segment (module 38 à module D) si D > 20
YA = 50 − √D + K + Ks + Kp



■ BÉTON PRÊT À L'EMPLOI (NF P 18-305)

Essai permettant de prendre en compte les caractéristiques et les performances des composants du béton, son comportement dans les milieux environnants, l'emploi de nouveaux constituants appelés « additions ».

COMPOSITION DU BÉTON (suite)

K : voir tableau ci-contre
Ks = 6 Mf − 15
(Mf : module de finesse du sable)

• **Valeurs de K**

Kp : coefficient de pompabilité qui varie de + 5 à + 10 %

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage ciment	400 + f*	− 2	0	− 4	− 2	− 6	− 4
	400	0	+ 2	− 2	0	− 4	− 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	− 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

Puis on trace les lignes de partage qui joignent les points 95 % de tamisat du sable à 5 % du tamisat du petit gravillon, ainsi de suite. Le point d'intersection de la ligne de partage et de la courbe de référence OAD donne les % en volume absolu des différents granulats. Avec le coefficient de compacité γ = (Vc + Vg)/1000 (voir tableau ci-dessous), on calcule le volume absolu des granulats (Vg), le volume absolu du ciment Vc étant déterminé d'après sa masse C et sa masse volumique absolue (environ 3,1 kg/dm³).
On calcule ensuite la masse de chacun des granulats (sable et gravillon) en multipliant leur volume absolu par la masse volumique absolue de chacun.
On obtient ainsi le dosage pondéral pour 1 m³ de béton.

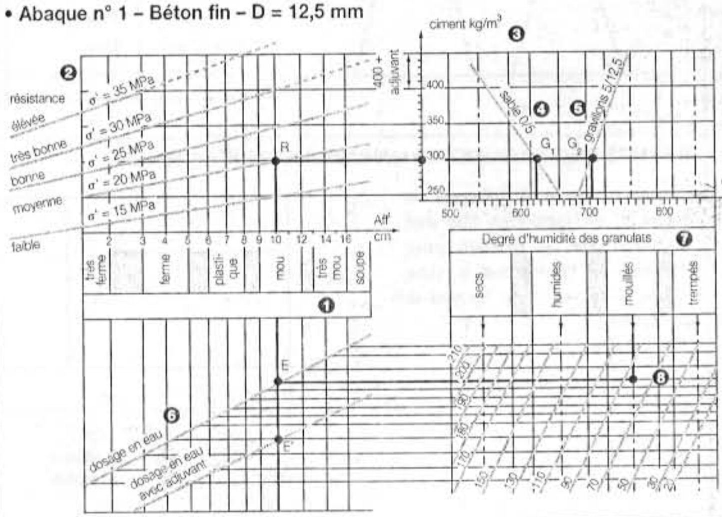
• **Valeurs du coefficient de compacité γ**

Consistante	Serrage	Coefficient g en fonction du diamètre D des granulats						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

■ MÉTHODE DES ABAQUES

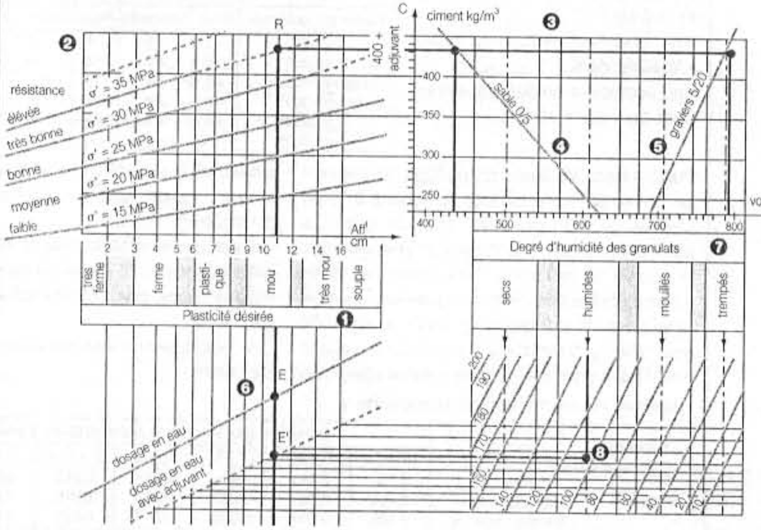
Connaissant le diamètre D des granulats en mm, la résistance à la compression à 28 jours (fc_{28}, notée sur l'abaque σ' en MPa) et la plasticité désirée du béton (affaissement au cône d'Abrams en cm), on détermine les quantités de ciment en kg, d'eau en litres suivant l'humidité des granulats, de sable et gravillons en volume apparent en litres pour 1 m³ de béton.

• **Abaque n° 1 – Béton fin – D = 12,5 mm**



COMPOSITION DU BÉTON (suite)

Abaque n° 2 - Béton normal - D = 20 mm



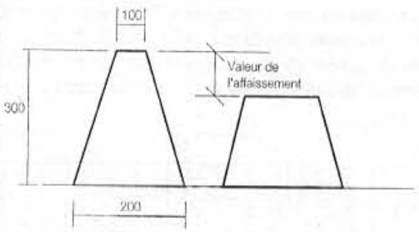
MANIABILITÉ DES BÉTONS

■ AFFAISSEMENT AU CÔNE D'ABRAMS (NF P 18-451)

L'essai consiste à remplir un moule tronconique en 3 couches de béton frais, piqué à l'aide d'une tige métallique de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche.

On soulève le moule et on mesure l'affaissement en cm du béton.

La consistance du béton dépend de l'affaissement.

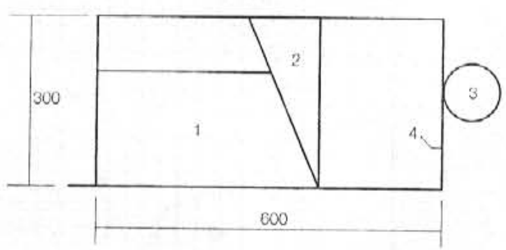


Affaissement	Béton	Vibration
0 à 2 cm	Très ferme	Puissante
3 à 5 cm	Ferme	Bonne
6 à 9 cm	Plastique	Courante
10 à 13 cm	Mou	Piquage
> 14 cm	Très mou	Léger piquage

■ TEMPS D'ÉCOULEMENT AU MANIABILIMÈTRE (NF P 18-452)

L'essai consiste à mesurer le temps (t) en secondes que met le béton ou le mortier pour atteindre un repère sur la cuve métallique après avoir enlevé la cloison mobile.

10 < t < 20 s



1. béton
2. cloison mobile
3. vibreur
4. repère

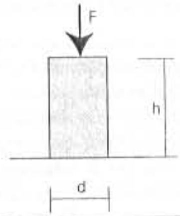
ESSAIS MÉCANIQUES

Éprouvettes normalisées

Cylindriques		Prismatiques	
diamètre : d en cm	hauteur h = 2d en cm	section : a × a (cm × cm)	longueur : l = 4a en cm
11	22	10 × 10	40
16	32	14 × 14	56
25	50	20 × 20	80

■ RÉSISTANCE À LA COMPRESSION (NF P 18-406)

L'essai consiste à mesurer à l'aide d'une presse la résistance à la compression à la rupture à 28 jours (notée f_{c28} et exprimée en MPa) d'une éprouvette cylindrique normalisée en béton. Si l'essai est réalisé avant 28 jours, le BAEL donne des formules permettant d'évaluer f_{c28}.

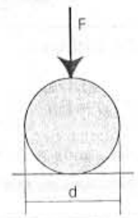


$$f_c = \frac{4F}{\pi . d^2}$$

F : en N
d : en mm

■ RÉSISTANCE À LA TRACTION PAR FENDAGE (NF P 18-408)

L'essai consiste à mesurer à l'aide d'une presse la résistance à la rupture par fendage à 28 jours (notée f_{t28} et dite résistance à la traction par fendage exprimée en MPa) d'une éprouvette cylindrique normalisée en béton.

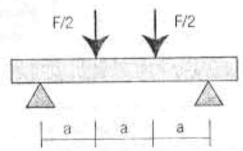


$$f_t = \frac{2F}{\pi . d . h}$$

F : en N
d et h : en mm

■ RÉSISTANCE À LA TRACTION PAR FLEXION (NF P 18-407)

L'essai consiste à mesurer à l'aide d'une presse la résistance à la rupture par flexion à 28 jours (notée f_{t28} et dite résistance à la traction par flexion exprimée en MPa) d'une éprouvette prismatique normalisée en béton.



$$f_t = \frac{300F}{a^2}$$

F : en N
a : en mm

38.6 ENROBÉS

CONTRÔLE DE LA TENEUR EN LIANT (MÉTHODE DE ROUEN)

On réalise un désenrobage à froid de 1 kg d'enrobé par agitation à l'aide d'un solvant. On sépare ensuite les agrégats par tamisage, les fillers par centrifugation et le solvant par évaporation.

On pèse le liant résiduel, la référence à un abaque donne la teneur en liant sur agrégats. Il faut un matériel spécifique : tamiseur agitateur, centrifugeuse, pompe à vide et évaporateur modèle de Rouen.

CONTRÔLE DE LA COMPACITÉ (ESSAI DURIEZ) (NF P 98-251.1)

Méthode LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) qui donne une résistance à la compression en réalisant un essai d'écrasement sur des éprouvettes cylindriques de 8 cm de diamètre dont la masse fait 1 kg (ce qui correspond à une hauteur d'environ 9 cm). Ces éprouvettes (au nombre de 3 jeux de 3) sont confectionnées à chaud par compression statique pendant 5 min sous une charge correspondant à une contrainte de 12 MPa. Le premier jeu est destiné à la mesure de la densité de l'enrobé, le deuxième est conservé 8 jours à l'air libre à 18° C, le troisième est conservé 24 h dans l'air puis 7 jours dans l'eau à 18° C. Les essais d'écrasement des 2^e^ et 3^e^ jeux sont réalisés en suivant et à 18° C à la vitesse de 1 mm/s. On réalise également des essais à 0° C et à 50° C.

39 TOPOGRAPHIE

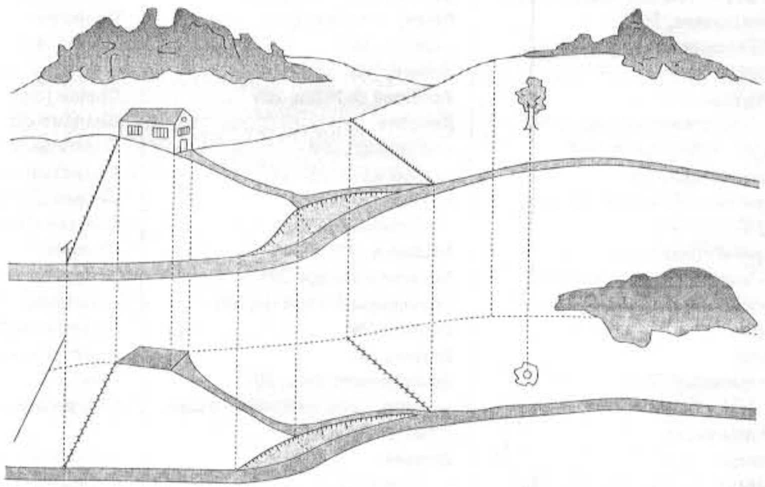
39.1 PLAN TOPOGRAPHIQUE

C'est la représentation des détails naturels (talus, arbres, ruisseaux,...) artificiels (bornes, constructions, routes,...) ou conventionnels (courbes de niveaux, limites administratives,...) en projection orthogonale sur un plan horizontal et à une échelle donnée.
On note également l'altitude de certains points remarquables.

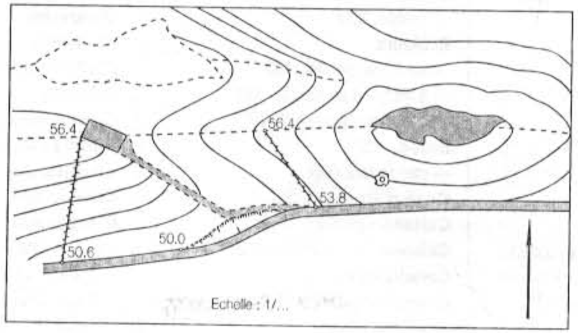
$$\text{Échelle} = \frac{\text{Dimension du plan}}{\text{Dimension du terrain}}$$

Échelles habituelles	
Grandes	Moyennes et petites
1/50	1/500
1/100	1/1000
1/200	
1/250	1/2000

PRINCIPE



Le plan topographique est établi à partir de mesures relevées :
- horizontalement sur le terrain (distances et angles),
- verticalement (hauteurs par rapport à un plan de référence horizontal).



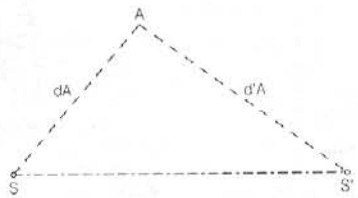
PROCÉDÉ GÉOMÉTRIQUES

Il existe plusieurs procédés géométriques pour positionner un point.

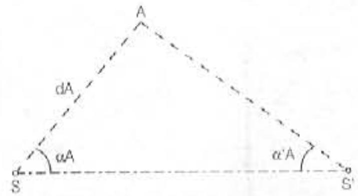
- **Procédés**
- Bipolaire linéaire (1 base référentielle et 2 distances)
- Bipolaire angulaire (1 base et 2 angles)
- Coordonnées polaires (1 base, 1 angle et 1 distance)
- Coordonnées rectangulaires (1 base, 1 angle droit, 2 distances)

- **Matériel**
- Ruban
- Théodolite
- Théodolite + ruban ou mire
- Équerre optique + ruban

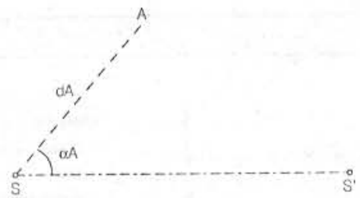
Bipolaire linéaire



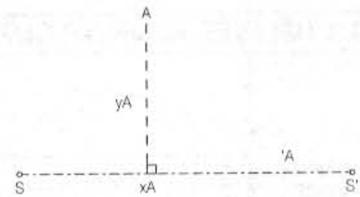
Bipolaire angulaire



Coordonnées polaires

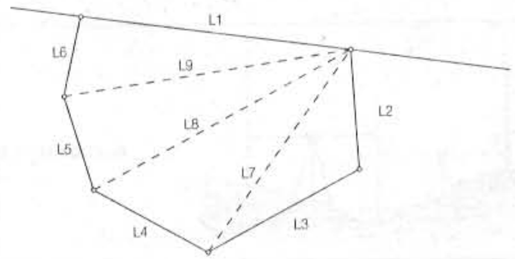


Coordonnées rectangulaires



39.2 RELEVÉS PLANIMÉTRIQUES

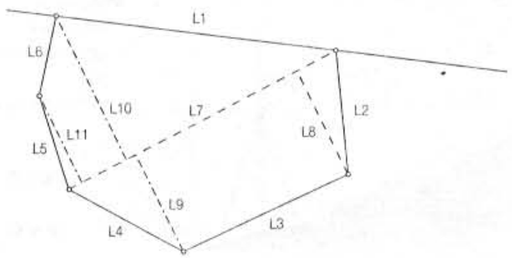
MESURES LINÉAIRES



Matériel :
- Ruban
- Jalons

MESURES ANGULAIRES ET LINÉAIRES

Par coordonnées rectangulaires

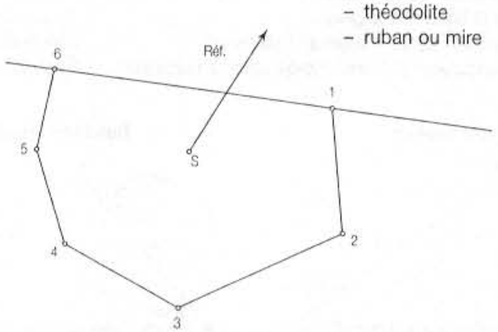


Matériel :
- Équerre optique
- Ruban
- Jalons

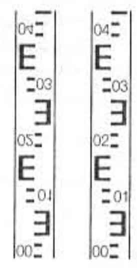
MESURES ANGULAIRES ET LINÉAIRES (SUITE)

Par coordonnées rectangulaires

Matériel :
- théodolite
- ruban ou mire



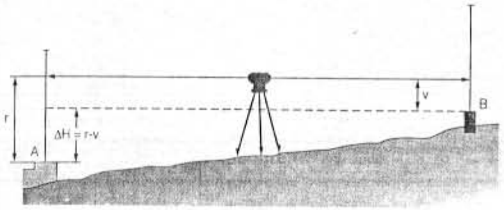
Mires



À partir d'une station (S) et d'une direction de référence, on relève les distances des points à la station et les angles de la droite de référence aux points.

39.3 RELEVÉS ALTIMÉTRIQUES

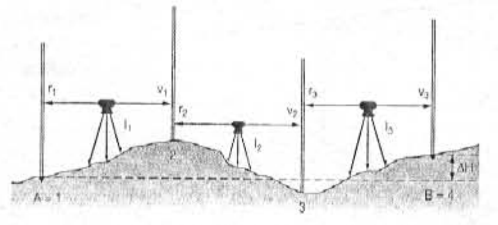
NIVELLEMENT DIRECT



Matériel :
- niveau à lunette
ou
- niveau électronique

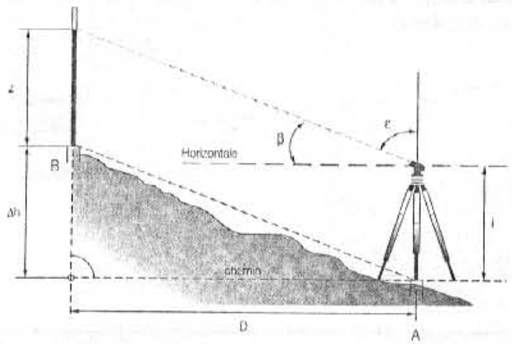
Altitude $H_B = H_A + r - v$

NIVELLEMENT PAR CHEMINEMENT



Altitude $H_B = H_A + \Sigma r_i - \Sigma v_i$

NIVELLEMENT INDIRECT



Matériel :
- théodolite
- ruban ou mire
ou
- tachéomètre électronique

$\Delta h = D \cdot \tan\beta$

ou $\Delta h = D \cdot 1/\tan\varepsilon$

INDEX

RÉPERTOIRE DES ORGANISMES ET FABRICANTS

ACOR
BP 19
92391 VILLENEUVE-LA-GARENNE CEDEX

AFNOR
TOUR EUROPE
92049 PARIS-LA-DÉFENSE

ALDES
22, BD JOLIOT CURIE
BP 8354
69200 VENISSIEUX

ARDOISIÈRES D'ANGERS
MISENGRAIN
49520 NOYANT-LA-GRAVOYÈRE

ASTRON SARL
20, RUE PIERRE MENDÈS-FRANCE
77200 TORCY

ATELIERS ET MATÉRIAUX DE LA NIVE
ZONE INDUSTRIELLE
40220 TARNOS

AXTER
30, RUE CHARLES HELLER
94405 VITRY-SUR-SEINE CEDEX

BARRISOL NORMALU
36, AV. DE GARLANDE
92220 BAGNEUX

BIDIM
9, RUE MARCEL PAUL
BP 80
95873 BEZONS CEDEX

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB)
4, AV. DU RECTEUR POINCARÉ
F-750782 PARIS CEDEX 16

CFEM-COMPALPAN
2 AV. DU GÉNÉRAL DE GAULLE
91170 VIRY-CHATILLON CEDEX

CIMBETON
7, PLACE DE LA DÉFENSE
92974 PARIS-LA-DÉFENSE CEDEX

CIPEC
38, RUE DE PARIS
78611 LE PERRAY-EN-YVELINES

COFRASTRA-SOLLAC
13, COURS VALMY
92800 PUTEAUX

COGEPREC
ZAC DES GODETS
6, RUE DES PETITS RUISSEAUX
BP 84
91371 VERRIÈRES-LE-BUISSON

CONSUEL
52, BD MALESHERBES
75008 PARIS

DECAYEUX FRÈRES
24, RUE JULES GUESDE
80210 FEUQUIÈRE-EN-VIMEU

DIAMANT INDUSTRIE
ZI DE KERGONAN
29200 BREST

DIFFUSION DES TECHNIQUES ET SPÉCIALITÉS DU BÂTIMENT
6/14, RUE LA PÉROUSE
75016 PARIS

EBAL - BDI
ROUTE DE LAFITTE
31390 CARBONNE

ECOPHON FRANCE
19, RUE ÉMILE ZOLA
60290 RANTIGNY

EUROBÉTON
LE RIVAL RD 519
38870 ST-SIMÉON-DE-BRESSIEUX

FCB
BD DE L'USINE
BP 2047
59015 LILLE CEDEX

FIBRAVER
35, GDE ALLÉE DU 12 FÉVRIER 1934
NOISIEL - BP 251
77442 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2

FIMA
BP 19
69380 LISSIEU

FINA-X
TOUR PARIS PLEYEL
153, BD ANATOLE FRANCE
93521 ST-DENIS CEDEX

FONDACO
(VOIR SOLETANCHE)

FOUASSE
120, AV. LEDRU-ROLLIN
75011 PARIS

FREYSSINET
10, RUE PAUL DAUTIER
78140 VELIZY

GANTOIS
25, RUE DES QUATRE FRÈRES MOUGEOTTE
88100 ST-DIÉ

GÉDIMAT-DIP BATLEY
12, AVENUE DE VERDUN
13400 AUBAGNE

GIMM-SA
ROUTE DE ROANNE
69240 PONT TRAMBOULE

HEBEL - SIPOREX
2, AV. DU 1er MAI
F-91127 PALAISEAU CEDEX

ISOVER-SAINT GOBAIN
18, AV. D'ALSACE
CEDEX 27
92096 PARIS-LA-DÉFENSE

JOURNAL OFFICIEL
26, RUE DESAIX
75727 PARIS CEDEX 15

LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES (LCPC)
58 BD LEFEBVRE
75732 PARIS CEDEX 15

LAFARGE PLÂTRES
5, AV. DE L'ÉGALITÉ
84807 L'ISLE-SUR-LA-SORGUE CEDEX

LAPEYRE
BP 233
93533 AUBERVILLIERS CEDEX

NAIL WEB
28, BOULEVARD KELLERMANN
75013 PARIS

NITRO-BICKFORD
37, RUE SAINT-MAUR
BP 574
76006 ROUEN CEDEX

OMNIPLAST-SA
24 BIS, CHEMIN DE LA PRAIRIE
ZA LA FONTAINE DU VAISSEAU
93360 NEUILLY-PLAISANCE

OUTINORD
392, RUE DE MILLONFOSSE
BP 59
59732 ST-AMAND-LES-EAUX CEDEX

PINAULT EQUIPEMENT
37, RUE DU MANOIR DE SERVIGNÉ
35000 RENNES

PERI-S.A.
RUE NICÉPHORE NIEPCE
F-77333 MEAUX CEDEX

PLACOPLÂTRE
34, AVENUE F.-D. ROOSEVELT
92150 SURESNES

PONT-A-MOUSSON SA
1, AVENUE C. CAVALLIER
54700 PONT-A-MOUSSON

PROFILACIER
4, ROUTE DE SENLIS
60330 PLESSIS-BELLEVILLE

PROMOTELEC
52, BD MALESHERBES
75008 PARIS

REHAU-SA
PLACE CISSEY
57343 MORHANGE CEDEX

ROCKWOOL ISOLATION
111, RUE DU CHÂTEAU DES RENTIERS
75013 PARIS

SIPLAST
12, RUE CABANIS
75680 PARIS CEDEX 14

SETRA
46, AV. A. BRIAND
91120 PALAISEAU

SIPOREX
2, RUE DU 1er MAI
91120 PALAISEAU

SMAC-ACIEROÏD
1, CHEMIN HERBU
78117 CHATEAUFORT

SOLETANCHE
6, RUE DE WATFORD
BP 511
92000 NANTERRE

STRADAL
ZONE INDUSTRIELLE SUD
26780 CHATEAUNEUF-DU-RHÔNE

TECHNAL
270, RUE LÉON JOULIN
BP 1209
31037 TOULOUSE CEDEX

ULMA
27, RUE GUSTAVE EIFFEL
91070 BONFOUFLE

VELUX
1, RUE PAUL CÉZANNE
91420 MORANGIS

VORTICE
72, RUE BARATTE CHOLET
94100 SAINT-MAUR-DES-FOSSÉS

YTONG
14, AV. DU 23 NOVEMBRE
BP 2
67305 SCHILTIGHEIM CEDEX

Imprimerie Hérissey à Évreux (Eure) – N° 87051
Dépôt légal : Juin 2000